



Norwegian University of
Science and Technology

Prinsipper og metoder til reparasjon av betong

Reparasjonsmetoder anvendt i Statens
vegvesen

Perica Benic

Master of Science in Road and Railway Engineering

Submission date: October 2017

Supervisor: Mette Rica Geiker, KT

Norwegian University of Science and Technology
Department of Structural Engineering

Prinsipper og metoder til reparasjon av betong

Reparasjonsmetoder anvendt i Statens vegvesen

Perica Benic, Statens vegvesen Trøndelag

10.10.2017

Forord

Denne oppgaven er skrevet som en del av NTNUs erfaringsbaserte masterstudium i veg og jernbane, studieretning veg.

Oppgaven er gjennomført ved instituttet for Bygg- og Miljøteknikk i 2017 og skrevet over en periode på 30 uker. Oppgaven teller totalt 30 studiepoeng.

Hovedveileder for oppgaven er professor Mette Rica Geiker ved NTNUs Institutt for Konstruksjonsteknikk.

Det har vært en begivenhetsrik reise, både studiet og oppgaven i seg selv.

Først og fremst vil jeg takke hovedveilederen min professor Mette Rica Geiker, for tiden hun har avsatt til dette prosjektet, og for å ha bidratt til min utvikling innenfor dette fagfeltet.

Jeg vil takke kollegaene mine i Statens vegvesen i Trondheim, for diskusjoner underveis om både materialer, utfordringer, systemer, metoder og løsninger, anvendte i Statens vegvesen i forbindelse med betongreparasjoner. De har i stor grad bidratt til å utvide min forståelse og min kunnskap i faget.

Takk til alle andre professorer og lærere som har vært involvert i prosesser gjennom min erfaringsbaserte masterstudium ved NTNU.

Jeg vil avslutningsvis rette en stor takk til min familie og venner, som har holdt med meg gjennom denne tiden.

Trondheim oktober 2017

Perica Benic

Sammendrag

Statens vegvesen som en statlig etat har en stor litteratursamling som handler om reparasjon av betong, men litteraturen er spred på flere plasser. Litteraturen er veldig omfattende og delt i håndbøker, standarder, rapporter og referater. Det finnes også en stor digitaldatabase BRUTUS, men som har noe redusert tilgang.

Gjennomsnittsalderen i Statens vegvesen har gradvis blitt lavere, og pga. noe begrenset praktisk erfaring, kan en del ansatte få utfordringer i sine oppgaver. Byggeledere, inkludert meg selv, kan i vise situasjoner bli nødt til følge sine egne praktiske erfaringer for å ta raske beslutninger og finne ut gode løsninger. Pga. varierende erfaringer, kunnskaper, manglende beskrivelser og god oversikt over gjeldende standarder og krav, kan det skje at det anvendes forskjellig reparasjonsmetoder og metoder som kan gi varierende resultat med tanke på kvalitet og kostnad.

Hensikten med denne oppgaven er i utgangspunktet å prøve å kartlegge materialer, skader, nedbrytningsmekanismer, utførelseskrav, reparasjonssystemer, prinsipper og metoder ved betongreparasjoner. Oppgaven beskriver fordeler og ulemper med metodene anvendt i Statens vegvesen med størst fokus på mekaniske reparasjoner.

Oppgaven viser frem at problematikk rundt betongreparasjon er generelt godt faglig kjent og i litteraturen godt beskrevet. Problemet er å få god oversikt og struktur, over gjeldende standarder, håndbøker og kunnskap om diverse krav ved betongreparasjoner.

God kunnskap om bygningsmaterialer, betongskader, nedbrytningsmekanismer, reparasjonsmetoder, konstruksjonsforståelse, og tekniske krav, er helt nødvendig for både prosjekterende, prosjektledende og entreprenører, for å kunne fullføre betongreparasjoner. For å få god kontroll på alt dette er det nødvendig å samle viktig fagliglitteratur. Dette kan være en prosess som krever mye av både intern og eksternt kommunikasjon og erfaringsutveksling. Det er ikke alltid lett gjennomføre i praksis, og det kan ofte ta flere år til en nyutdannet ingeniør å gjennomføre.

Denne oppgaven er noe komprimert, men viser likevel noen av det helt nødvendige for en kontrollingeniør, byggeleder eller prosjektleder i Statens vegvesen, til å kunne med suksess fullføre en del av sine daglige oppgaver i forbindelse med betongreparasjoner.

Abstract

The Norwegian Public Roads Administration as a government agency has a large literature collection dealing with concrete repair, but the literature spread in several places. The literature is very comprehensive and divided into manuals, standards, reports and papers. There is also a large digital database, BRUTUS, but it has some reduced access.

The average age of employees in the Norwegian Public Roads Administration has been gradually lower, and some of the employees due to some limited practical experience can have challenges in its tasks. Building managers, including myself, in certain situations may have to follow their own practical experience to make quick decisions and to find good solutions. Because of varying experience, knowledge, lack of descriptions and a good overview of current standards and requirements, different repair methods may be used and methods, that can provide varying results in terms of quality and cost.

The purpose of this task is to try to map both materials, damage, decomposition mechanisms, execution requirements, repair systems, principles and methods, for concrete repairs. The task describes the advantages and disadvantages of the methods used in the Norwegian Public Roads Administration. The greatest focus is on mechanical repairs.

The task shows that problems regarding concrete repair are generally well known and well described in the literature. The problem is to get a good overview and structure, over current standards, manuals and knowledge of various requirements for concrete repairs.

Good knowledge about building materials, concrete damage, decomposition mechanisms, repair methods, construction understanding, and technical requirements are essential to both projecting, project management and contractor, to complete concrete repairs. To get good control of all this, it is necessary to gather important academic literature. This can be a process that requires a lot of internal and external communication, and experience sharing. It is not always easy to implement in practice, and it may take several years for a graduate engineer to complete.

This task is somewhat compressed, but shows some of the things that may be necessary for a control engineer, building manager or project manager in the Norwegian Public Roads Administration to successfully complete some of his daily tasks in connection with concrete repairs.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	3
Sammendrag	4
Abstract.....	5
Innholdsfortegnelse	6
Kapitel 1 Introduksjon	9
1,1 Utgangspunkt for studien.....	9
1,2 Ambisjoner og forskningsspørsmål	9
1.3 Struktur i oppgaven.....	10
1.4 Omfang og begrensninger.....	12
Kapitel 2 Metodebeskrivelse og datainnsamling	13
2.1 Datasamling	13
2.2 Databehandling	13
2.3 Valg av metoden.....	14
2.4 Styrkene og svakhetene ved metoden.....	14
Kapitel 3 Materialer.....	15
3.1 Betong.....	15
3.2 Armering	16
Kapitel 4 Skader og nedbrytingsmekanismer	18
4.1 Skadeårsaker	18
4.1.1 Materialuavhengige skader.....	19
4.1.2 Skade på betong	19
4.2 Årsaker til nedbrytning i henhold til NS-EN 1504-9	19
4.2.1 Korrosjon	21
4.2.2 Karbonatisering.....	22
4.2.3 Kloridinntrengning	24
4.2.4 Alkalireaksjoner	26
4.2.5 Frostskader i betong	27
Kapitel 5 Tilstandsvurdering og registrering.....	29
5.1 Inspeksjoner og datalagring	29
5.2 Brutus.....	30
5.3 Kodesystem ved inspeksjon og vurdering	31

Kapitel 6 Strategier, prinsipper, systemer, metoder og standarder	33
6.1 Vedlikeholds strategier.....	33
6.2 Prinsipper og metoder anvendt i Statens vegvesen.....	33
6.2.1 Prinsipper ved skadet betong delt i metoder.....	34
6.2.2 Prinsipper ved armeringskorrosjon, gjenoppretting av passivitet, delt i metoder.	35
6.3 Standarder.....	37
6.3.1 Standard NS-EN1504 Del (1-10)	37
6.3.2 Spesialstandarder.....	38
6.4 Kriterier for valg av reparasjonsmetode.....	38
6.4.1 Planlegging av vedlikehold og reparasjon av betong	39
6.4.2 Håndbok R763, Prosesskode2	40
Kapitel 7 Betongrehabilitering	44
7.1 Mekaniske reparasjoner.....	44
7.1.2 Infisert betong og fjerningsprosesser	44
7.1.3 Prosesser ved mekanisk reparasjon av armert betong.....	46
7.2.5 Kontroll for mekaniske reparasjoner av betong.....	69
7.1.6 Regler for volumberegning [NS-EN 1504]	72
7.1.7 Kostnader ved mekaniskreparasjoner av betong	74
7.2 Riss og sprekker.....	77
7.2.1 Volumendringer og spenninger i betong.....	77
7.2.2 Groing av riss.....	77
7.2.3 Forsegling av riss/sprekker og krav	78
7.2.4 Injisering	79
7.3 Overflatebehandling	81
7.3.1 Forbehandling.....	82
7.3.2 Mottakskontroll og krav til værforhold	83
7.3.4 Hydrofoberende impregnering	84
7.3.5 Impregnering	85
7.3.6 Belegg	86
7.3.7 Membran.....	87
7.3.8 Materialkrav ved overflatebehandling.....	88
7.3.9 Anti-graffiti behandling og annen overflatebehandling.....	89
7.3.10 Etterbehandling og herdetiltak.....	89
Kapitel 8. Elektrokjemiske metoder for betongbeskyttelse	91

8.1 Elektrokjemisk realkalisering	91
8.2 Elektrokjemisk kloriduttrekk	93
8.3 Katodisk beskyttelse.....	94
8.3.1 Noen av erfaringer med KB-anlegg i Statens vegvesen.....	97
Kapitel 9 Diskusjon og svar på forskningsspørsmål.....	99
9.1 Hvordan Statens vegvesen kartlegger skader, vurderer tilstand på betongkonstruksjoner og velger reparasjonsmetode?	99
9.2 Hva er praksis i Statens vegvesen i forhold til vedlikehold, reparasjon og kontroll av betong?	100
Hvor finnes nødvendig faglitteratur og dokumentasjon om konstruksjon?	102
9.3 Hvilken standarder, håndbøker og krav må vi følge ved betongreparasjoner?	103
9.4 Hvilken skader på betong er mest utbredt og mest kostbare?	103
Typiske fordeler, ulemper og begrunnelser for valg av metoder.....	104
Kapitel 10 Konklusjon.....	115
Referanser	117
Figurliste	120

Kapitel 1 Introduksjon

Som nyansatt byggeleder i Statens vegvesen med fokus på betongkonstruksjoner, oppdaget jeg fort at Statens vegvesen er en stor organisasjon med veldig bredt ansvarsområdet. Statens vegvesen har blant annet ansvar for ca. 17300 trafikkerte bruer og 1000 tunneler. Bruparken representerer store samfunnsverdier og en stor andel av betongkonstruksjoner har nådd en alder hvor det kreves mer omfattende vedlikehold.

I følge Statens vegvesen og Eva Rodum [44] var det norske standardverket som var gjeldende på 1960-, 1970- og delvis 1980-tallet fokuserte på betongkonstruksjonens lastkapasitet, og det var ikke stilt krav til armeringsoverdekning og betongkvalitet etter hvilket miljø konstruksjonen skulle stå i. Betongen ble betraktet som bestandig og «evig» materialet.

Gjennomsnittsalderen på bruer på riksvegnettet er ca. 34 år, og etterslepet i vedlikehold er stort. Man finner skader på armering, avskalling av betong og forskyvninger i fundamenter. For å få generelt god oversikt og kontroll på så mange bruer og betongkonstruksjoner, må Statens vegvesen gjennomfører ca. 6.000 bruinspeksjoner i året. Mange feil blir avdekket og de fleste utbedres raskt.

Hvert år bruker Statens vegvesen betydelige økonomiske ressurser for drift, vedlikehold og reparasjon av betongkonstruksjoner. For å fullføre disse reparasjoner med suksess, kreves det gode kunnskaper om materialer, prinsipper, metoder, gjeldende krav, miljøpåvirkninger og trafiksikkerhet. Jeg har valgt denne oppgaven med mål om å finne disse kunnskapene.

1,1 Utgangspunkt for studien

Med dagens regelverk for nybygging, europeiske standarder og Statens vegvesens egne retningslinjer, forventes det at man oppnår en levetid på 100 år for nyere betongbruer. [44] Betong er generelt et holdbart materiale som kan motstå påkjenninger i til dels meget aggressivt miljø når den blir brukt på riktig måte. Betong er samtidig et komplisert materiale hvor egenskapene påvirkes sterkt av materialsammensetning, utførelse, etterbehandling og vedlikehold. [19] Betong er utsatt, som alle de andre byggematerialer, for aldring, skader, laster, slitasje, og dermed kreves det vedlikehold og reparasjon. For å forstå reparasjonsmetoder er det viktig å forstå betong som material generelt, og betongens nedbrytningsmekanismer. Av nedbrytningsprosesser har armeringskorrosjon, som stort sett oppstår pga. kloridinntrenging og karbonatisering, fått mest oppmerksomhet. Men i siste 30 årene har det også vært betydelig fokus på andre nedbrytningsmekanismer som for eksempel alkalireaksjoner. Denne oppgaven bearbeider disse nedbrytningsprosessene.

1,2 Ambisjoner og forskningsspørsmål

Det er tydelig behov blant kontrollingeniører, byggeledere og prosjektledere, til å ha en god oversikt og kunnskap, over prosesser, systemer og metoder til betongreparasjon som er per dags dato anvendt i Statens vegvesen. Mitt mål er, som nevnt tidligere, å samle og utforske nødvendige data, litteraturen og dokumentasjon som vi i Statens vegvesen har tilgjengelig i forbindelse med betongreparasjoner. Størst fokus i oppgaven kommer til å være på mekaniske reparasjoner, og ideen er basert på å lage en liten og oversiktlig «veileder» for enkeltbruk.

Oppgaven er innledet som en beskrivelse av reparasjonsmetoder som: mekanisk reparasjon, elektrokjemiske reparasjonsmetoder, og overflatebehandling.

Fordeler, ulemper, og typiske begrunnelser for valg av metoder er nevnt, og hvor det var mulig, samlet informasjon om holdbarhet og typiske feil.

I denne oppgaven har jeg valgt å svare på følgende spørsmål:

1. Hvordan kartlegges skader, vurderes tilstand på betongkonstruksjoner og velges reparasjonsmetoden?
2. Hva er praksis i Statens vegvesen i forhold til vedlikehold, reparasjon og kontroll av betongkonstruksjoner?
3. Hvor finnes nødvendig dokumentasjon og database med tanke på konstruksjons historikk?
4. Hvilken standarder og krav må vi forholde oss til?
5. Hvilken skader på betong er mest utbredt og mest kostbare?
6. Hva er fordeler, ulemper og begrunnelser for valg av metoder?

1.3 Struktur i oppgaven

Betongreparasjoner som anvendes i Statens vegvesen er et stort og omfattende tema, som inkluderer flere systemer, regler, krav, materialer, mekanismer, prinsipper og metoder. Jeg har valgt å dele denne oppgaven i 10 kapiteler, kapitlene er følgende:

Kapitel 1 Introduksjon

I det første kapitlet «Introduksjon», nevnes noe av dagens problematikk og utfordringer som mine kollegaer i Statens vegvesen og jeg, møter ofte i forbindelse med arbeid knyttet til betongreparasjoner, og forklarer ideen bak valg av oppgaven.

Kapitel 2 Metode

Kapitlet 2 viser frem hvilken metode for oppgaven er valgt, og hvordan er dokumentasjon og litteratur samlet.

Kapitel 3 Materialer

For å kunne utføre daglige oppgaver som byggeleder i Statens vegvesen, for meg er det helt nødvendig å ha gode kunnskaper om bygningsmaterialer. Materialer er mange, men siden denne oppgaven holder hovedfokus på betong og armering, i kapitlet 3 beskrives noe av egenskapene og funksjonene til disse to materialene.

Kapitel 4 Betongskader og nedbrytningsmekanismer

Kartlegge skader, bestemme- og velge riktig reparasjonsmetode, beskrive arbeidsprosesser, stille krav på kvalitet og utførelse er det i tillegg til gode kunnskaper om materialer, nødvendig å ha kunnskaper om skader og nedbrytningsmekanismer som ødelegger betong. I kapittel 4 beskriver jeg noen av de viktigste skadene og nedbrytningsmekanismer som kan oppstå på betongkonstruksjoner.

Kapitel 5 Tilstandsvurdering og tilstandsregistrering

Tilstandsvurdering av betongkonstruksjoner har til hensikt å kartlegge skadeomfanget og skadeårsakene. Tilstandsvurdering er en av de viktigste prosessene som bestemmer om reparasjon er nødvendig eller ikke, og eventuelt når det kommer til å skje. Før reparasjonsarbeidene iverksettes, må all foreliggende informasjon om konstruksjonen sammenstilles og gjennomgås. Ved tilstandsregistrering brukes bestemt registrerings- og arkiveringsverktøy, som gir mulighet til å følge opp konstruksjon og skadeutvikling. På den måten kan man bestemme oppstart av reparasjonstiltak og sikre at det skje på et samfunnsøkonomisk og trafiksikkert tidspunkt.

Kapitel 6 Strategier, standarder, prinsipper for valg av metode

Reparasjonsprosesser kan bestemmes ut fra forskjellige strategier. Ut fra utarbeidet strategier velger vi reparasjonsprinsipper og metoder som er beskrevet i gjeldende standarder. Hoveddokumenter er NS EN1504 (1–10), som er en omfattende og presist dokument og som fortjener minst et kapittel i oppgaven. I tillegg til NS EN1504, finnes det flere spesielle standarder, håndbøker, veiledere og ikke minst Prosesskode 2, som er både teknisk, praktisk, økonomisk og juridisk verktøy, og som er i daglig bruk ved prosjektering, kontrahering og utførelse av betongreparasjoner.

Kapitel 7 Betongrehabilitering

Ved betongreparasjon praktiseres det flere metoder og noen av dem er mekanisk reparasjon, elektrokjemisk realkalisering, elektrokjemisk kloriduttrek, katodisk beskyttelse, og overflatebehandling. Utførelseskravene, materialkravene og de geometriske kravene til disse metodene er standardisert og i kapittelet 7, prøves det å gi en oversikt over dem.

Ved betongreparasjoner finnes det flere arbeidsprosesser og hver av dem har sine fordeler og ulemper. I kapitelet 7, blant annet, presenteres disse arbeidsprosessene og varsles om momenter vi ved utførelse av betongreparasjoner bør holde fokus på. Økonomi og kostnader er nevnt, men kun vist på noen av dem knyttet til mekanisk reparasjon.

Kapitel 8 Elektrokjemiske metoder for betongbeskyttelse

Lav pH verdi i betong er ofte hovedårsak til armeringskorrosjon. Elektrokjemiske metoder for betongbeskyttelse har som hovedmål å øke den lave pH verdien og med det å bringe armeringsstålet inn i en passiv og ikke korroderende tilstand.

I prinsippet er det tre hovedelektrokjemiskemetoder for betongbeskyttelse og disse er: elektrokjemisk realkalisering, elektrokjemisk kloriduttrekk, katodisk beskyttelse, og i oppgavens kapittel 8 beskrives disse metodene.

Katodisk beskyttelse kan brukes på konstruksjoner med kloridinntrenging, og over større områder med armeringskorrosjon. Katodisk beskyttelse er ofte det eneste økonomisk forsvarlige måten å reparere kloridinfisert armert betongkonstruksjon, uten massiv fjerning av den infiserte betongen, og derfor forteller oppgaven noe mer om KB enn de andre elektrokjemiske metodene.

Kapitel 9 Diskusjon og svar på forskningsspørsmål

Kapittel 9 svarer på de tidligere stilte spørsmålene i kapittel 1, som har i utgangspunktet startet denne oppgaven.

Kapitel 10 Konklusjon og avslutning

Konklusjon settes på det som dette prosjektet har oppdaget, og gis konkrete forslag valg av metoder.

Referanser

Litteraturliste med referanser og link hvor er det mulig.

1.4 Omfang og begrensninger

Oppgaven fokuserer på metoder til betongreparasjon anvendt i Statens vegvesen. Det er lagt størst fokus på mekanisk reparasjon. Konstruktive reparasjoner er ikke inkludert. Elektrokjemiske reparasjonsmetoder og overflatebehandling er beskrevet i en mindre grad. Fordeler, ulemper og typiske begrunnelser for valg av metoder er inkludert.

Oppgaven fokuserer også på aktuelle standarder, krav, kvalitet, og regelverk anvendt i Statens vegvesen ved reparasjon, kontroll, og vedlikehold, av betongkonstruksjoner.

Kapitel 2 Metodebeskrivelse og datainnsamling

Dette studie er basert på kvalitative metoder. Kvalitative metoder bygger på teorier om fortolkning og menneskelig erfaring. Metodene omfatter ulike former for systematisk innsamling, bearbeiding og analyse av materiale fra samtale, observasjon og egen erfaring eller skriftlig tekst.

2.1 Datasamling

Utgangspunkt for datasamling i oppgaven finner sted i erfaringsbaserte masterstudium ved NTNU i Trondheim, og fag KT 6004 Betongteknologi, som undervises av professor Mette Rica Geiker. Mye av datamaterialet ble presentert gjennom undervisning og det var lett å se at det finnes omfattende litteratur og dokumentasjon knyttet til betongreparasjoner og betongsnedbrytningsmekanismer. Mye av dokumentasjon finnes allerede i Statens vegvesensarkiv, men er veldig spredd og ikke så oversiktlig.

Statens vegvesens egen nettside «Vegveven», er med sine mange funksjoner en stor database med omfattende tilgang til informasjon som er i stor grad godt sortert, men en del av faglig litteratur er usortert og krever mye arbeid for å finne frem det som er nødvendig for utførelse av daglige oppgaver knyttet til betongreparasjoner.

Statens vegvesen er en organisasjon delt i regioner og flere avdelinger. For å navigere gjennom «Vegveven» kreves det en del kjennskap om organisasjonen. Det finnes søkefunksjoner, men store deler av dataen er usortert eller blitt gammelt og kanskje ikke lengre aktuelt.

En av Statens vegvesens deler er Vegdirektoratet. Vegdirektoratet er et frittstående direktorat underlagt Samferdselsdepartementet og har ansvar for planlegging, bygging og vedlikehold av riks- og fylkesveinettet. Vegdirektoratet blant annet utarbeider håndbøker, forskrifter og standarder. Standarder er den viktigste skriftlige redskaper som vi har for å utføre kontroll, inspeksjoner, vedlikehold og reparasjon av betongkonstruksjoner. Ved siden av samlet litteratur i Statens vegvesen, fant jeg veldig mye informasjon på internett, bibliotek og ved diskusjon med kollegaer på jobben og diverse entreprenører.

2.2 Databehandling

Data som er samlet for denne oppgaven, er vurdert ut av mine egne erfaringer. Erfaringene baseres på min 3-årig bachelorstudiet ved daværende HIST (Høyskole i Sør-Trøndelag) og deretter erfaringsbaserte masterstudium ved NTNU.

Ved siden av nevnt utdanning har jeg 7-årig erfaring som formann på betong i entreprenørfirma Reinertsen AS, og 6-årig erfaring som ingeniørteknikker på prosjektering av forskalingsystemer for betong i forskalingsfirma Doka Norge AS. <https://www.doka.com/no/index>

Samlede data vurderte jeg i stor grad i forhold til kjente teorier som jeg er kjent med gjennom min utdanning, diskusjoner med kollegaer i Statens vegvesen og entreprenører som BMO Entreprenør, Veidekke, Skanska, og Peab AS.

2.3 Valg av metoden

Daglig jobber jeg som byggeleder, og en stor del av mine oppgaver er investeringsprosjekter knyttet til betong, men delvis også til betongreparasjoner. Etter et par gjennomførte prosjekter oppdaget jeg at dette er et bredt fag som krever mye kunnskaper og ikke minst erfaring. Det finnes mange regler og krav rettet i retning til materialer og utførelse. Litteratur er noe vanskelig å få oversikt over. Det at det finnes flere entreprenører som utfører betongarbeid og betongreparasjoner, som ikke har god oversikt over krav, regler, standarder og håndbøker, er en av de viktigste årsakene til at jeg valgte denne oppgaven og metoden.

2.4 Styrkene og svakhetene ved metoden

Mye av litteraturen og datamaterialet som er samlet var datert langt tilbake i tid, og i dag kan betraktes som utdatert eller aktuelt. I oppgaven har jeg filtrert bort det meste av data som var vurderte som utdatert. Nye kunnskaper om materialer, kontrollsystemer, nedbrytingsmekanismer, reparasjonsmetoder og prinsipper er utviklet og standarder oppdatert. Standardene er spesielt oppdatert og tilpasset i forhold til EU standarder. Norske standarder er nå veldig like EU standarder med noe få unntak som er karakteristiske for Norge grunnet klimaforholdene og miljø.

Svakhet ved samling av data som er basert på andres erfaringer framfor egne erfaringer er at datakilden må være troverdig, og derfor har jeg samlet mest mulig dokumentasjon fra fagbøker av kjente forfattere, foredragsholdere og ved hyppige samtaler med kollegaer på jobb med erfaring i betongfaget.

Ved skriving av oppgaven har jeg lagt frem litteraturliste så nøyaktig som jeg kunne, slik at data kan kontrolleres og eventuelt sammenlignes med andres erfaringer, og at eventuelle feil, kan oppdages og rettes opp.

Kapitel 3 Materialer

Kunnskap om materialer og materialetsegenskaper er viktige elementer ved tilstandsvurdering og valg av prinsipp-metode for betongreparasjoner. I denne oppgaven fokuserer vi mest på betong og armering, som er to viktigste materialene.

3.1 Betong

Betong er en av verdens mest brukte bygningsmateriale som fremstilles ved å blande sement, tilslag, vann, eventuelt tilsetningsstoffer og tilsetningsmaterialer. Sementmengden kan variere mellom 300–450 kg pr. kubikkmeter betong.

Betongproduksjon er beskrevet i betongproduksjonsstandarden NS-EN 206-1:2001, «Betong Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar».

Pga. ulike klimaforhold, byggetradisjoner, erfaringer og lignende, på noen punkter i standarden NS-EN 206-1:2001, gjelder ikke felles regler for hele Europa.

I Norge er slike bestemmelser innarbeidet i et Nasjonalt tillegg til NS-EN 206-1.

NS 3473 Prosjektering av betongkonstruksjoner. Beregnings og konstruksjonsregler.

NS 3465 Utførelse av betongkonstruksjoner. [23]

Sement er et hydraulisk bindemiddel, det vil si et uorganisk materiale som herdner ved kontakt med vann. I herdeprosessen dannes det blant annet kalsiumsilikathydrater, kalsium-aluminathydrater, kalsiumsulfoaluminathydrater, kalsiumkarboaluminathydrater, kalsiumjernaluminat-hydrater og kalsiumhydroksid. I betongproduksjon i Norge brukes det standardsementer i tillegg til en andel blandingssementer som kan inneholde flyveaske, slagg, og kalkstein. [43]

Portlandsement fremstilles ved å brenne en blanding av kalkstein og materialer som inneholder kvarts, leire, skifer, bauxitt og jernoksid.

Blandingen brennes i en roterovn med temperatur opp til 1450 C. Lufttemperatur kan være opp til 2000 C.

Roterovn er en lang og svakt skråstilt sylindrerformet ovn, som kan være lang 50–150 m.

Etter brenning og avkjøling, males klinkeren i møller og blandes med gips, jernsulfat og flyveaske. Etter denne prosessen får materialet betegnelsen sement.

Tilslag er navn på steinmaterialer i betong. Tilslag og kravene til dokumentasjon er detaljert beskrevet i Norsk Standard og nasjonalt tillegg NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 «Tilslag for betong».

Tilsetninger er fellesbetegnelse for tilsetningsmaterialer og tilsetningsstoffer til betong.

Tilsetningsstoffer er materialer som tilsettes (betong) under blanding i små mengder i forhold til sementmengden for å endre egenskapene til fersk eller herdnet betong. [NS-EN 206-1]

Tilsetningsstoffer brukes når vi ønsker:

- Redusere vannmengde i betong
- Påvirke størkningsprosessen (akselerere eller retardere)
- Bedre betongens frøstmotstand
- Endre farge

Tilsetningsmaterialer er finfordelt materiale som brukes i betong for å forbedre visse egenskaper eller for å oppnå spesielle egenskaper. [NS-EN 206-1]

Tilsetningsmaterialer brukes vanligvis for å øke betongens styrke og tetthet.

Armert betong er betong som inneholder armering slik at de to materialene virker sammen ved overføringen av krefter.

3.2 Armering

Betong har lav strekkstyrke i forhold til trykkstyrken, slik at i praksis regnes at betong ikke kan oppta strekkpåkjenninger. I armert betong opptar armeringen strekkpåkjenningen. Armeringen er som regel stenger av stål, men kan være laget av andre materialer.

Betong og armeringsstålet har tilnærmet samme varmeutvidelseskoeffisient og følger hverandre ved temperaturvariasjoner.

Mest brukt armering i betong er av vanlig stål og i samsvar med NS 3576. Alle stål i NS 3576-serien er sveisbare. Denne standarden er delt i følgende fem deler:

- NS 3576-1: Kamstenger B500NA /10.2
- NS 3576-2: Kamstenger B500NB /10.3
- NS 3576-3: Kamstenger B500NC /10.4
- NS 3576-4: Sveiste armeringsnett /10.5
- NS 3576-5: Rustfritt kamstål B500NCR /10.6

Tallet 500 i betegnelsen står for karakteristisk øvre flytegrense (N/mm²). NA, NB og NC uttrykker forskjellig duktilitet (seighet) med NC som det mest duktile. [19]

Rustfri armeringsstål er liten grad brukt i Norge, først og fremst fordi stålet er mye dyrere enn vanlig stål. Jeg selv har brukt rustfritt stål som armering mellom avlastningsplater og brudekke ved brubygging.

Galvanisert armeringsstål er ikke vanlig brukt i Norge bortsett fra som innstøpingsgods.

Epoksybelagt armeringsstål er ikke i bruk mye i Norge. Reinertsen AS har brukt en del epoksybelagt armering på Steinberg tunellen i Trondheim. Hovedsakelig ble brukt som gysearmering mellom tunellfundamenter og fjel (berg).

Komposittmaterialer som karbon, glass eller fiber, er mulig å bruke som armering i enkelte situasjoner. Det som er positivt med slike materialer er at de ikke korroderer, men E-modulen kan være noe lav.

Fiberarmert betong er en betong som er tilsatt stålfiber eller glassfiber. De vanligste bruksområdene er i sprøytebetong for bergsikring og golv på grunn. Andre bruksområder er begrenset av hensyn til konstruksjonens sikkerhet, spesielt for bøyepåkjente konstruksjoner. Ut fra mine egne erfaringer glassfiber kan være noe «klumpete» eller samles på noe få steder i «klumper», og ikke være jevnt fordelt i betongen.

Kapitel 4 Skader og nedbrytingsmekanismer

Betong kan være utsatt for skader og nedbryting pga. av mekaniske, kjemiske, fysiske, eller biologiske årsaker. Årsaken til skader kan være enkelthendelser eller mer sammensatt hendelse.

4.1 Skadeårsaker

Vanligvis årsaken til skader på trafikkerte konstruksjoner skyldes: bukskader, påkjørsel, prosjekteringsfeil, utførelsesfeil, overbelastning, utmating, materialfeil, miljøangrep, manglende drift og vedlikehold, osv.

Bukskader vises i størst grad som slitasje, mens påkjørsel resulterer som støtt. Snøbrøyting er en av de største syndere. Mange kantdragere på bruer viser tydelig skader etter støtt med snøbrøytingsplog.

Bilder nede er tatt på Fv.65 og viser brøtningsskader på kantdrager på Forve brua. Bildet er tatt 03.10.2017



Figur 1 Støtteskader pga snønrøyting på Fv.65 Forve bru i 2017



Figur 2 Støtteskader ved snøbrøyting kombinert med frøstskader på Fv.65 Forve bru [2017]

Prosjekteringsfeil skjer vanligvis ved beregning, materialvalg eller feil ved utforming. Utførelsesfeil skjer ved produksjon og kan komme ved utstøping, forskaling eller armering. Materialfeil er hovedsakelig feil i betong, armering eller innstøpingsgods. Miljøangrep er i prinsipp basert på frøst, kjemiske angrep og biologiske angrep.

I følge Truls-Erik Johnsrud fra Skogbrukets Kursinstitutt (SKI) «Inspeksjon av bruer på landbruksveger» (2012), skadene kan deles i materialuavhengige skader og skader på betong. [35]

4.1.1 Materialuavhengige skader

Materialuavhengige skader som kan oppstå uavhengig av materialet selv. De oppstår ved ytre påkjenninger.

- Setninger – Vertikal bevegelser i grunnen og av elementer i grunnen.
- Bevegelse – Rotasjon/forskyving av elementer i forhold til opprinnelige posisjon.
- Deformasjon – Bøying, (nedbøying, utbøying o.l.) av elementer.
- Riss/Sprekk – Alle typer riss og sprekker.
- Brudd – Gjennomgående skade eller brudd i elementer og forbindelsesmidler.
- Skade på overflatebehandling – Skade på overflatebehandling på stål, tre og betong.
- Lekkasje /fukt – Lekkasje av vann i materialer, fuger o.l.
- Misfarging – rustvann, graffiti og annen misfarging.
- Innsnevring – Innsnevring av vanngjennomløp på grunn av oppsamling av løsmasser, hogstavfall o.l.
- Erosjon – Undergraving av fundamenter. Erosjon over og under vann, Erosjon av skrånninger og fyllinger.

4.1.2 Skade på betong

- Liten overdekning – Overdekning som er for liten til å gi armeringen tilstrekkelig beskyttelse mot korrosjon, dvs. er karbonatisert, infisert av klorider eller andre kjemikalier.
- Forvitring – Forvitring av betong på grunn av ytre eller indre påvirkninger, som frost eller alkalireaksjoner, dvs. tilslag (sandfraksjoner) som inneholder mineraler som reagerer kjemisk med sementen og fører til oppsprekking av betongen.
- Støpesår er sår i betongen som skyldes dårlig utstøping eller komprimering.
- Bom – Heftsvikt og delaminering.
- Avskalling – Alle typer avskalling.
- Armeringskorrosjon – Korrosjon på slakkarmering og/eller spennstål.
- Utvasking – Utvasking av betong i vann.

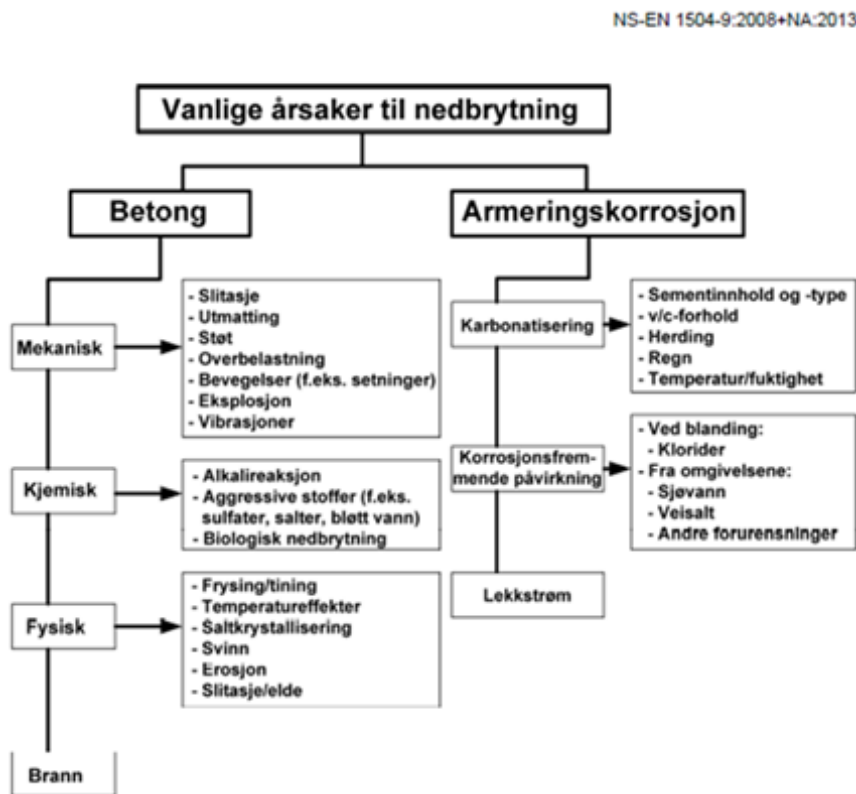
4.2 Årsaker til nedbrytning i henhold til NS-EN 1504-9

I NS-EN1504-9 er det lagt inn tabell som viser vanlige årsaker til nedbrytning. Årsaker til nedbrytning er delt i nedbrytning av betong og armeringskorrosjon.

Nedbrytning av betong er videre delt i mekanisk, kjemisk, fysisk, nedbrytning, og nedbrytning pga. brann.

Nedbrytning pga. armeringskorrosjon er delt i korrosjon pga. karbonatisering, korrosjonsfremende påvirkninger og lekkstrøm.

Oversiktstabell, figur 3, viser årsaker til betongnedbrytning i NS-EN1504



Figur 3 Vanlige årsaker til betongnedbrytning i NS-EN1509

Mekaniske nedbrytningsmekanismer oppstår hovedsakelig pga. slitasje, utmatting, overbelastning, støt, bevegelse (f. eks. setning), eller vibrasjoner.

Fysisk nedbrytningsmekanismer på betong oppstår pga. frysing–tining, utvasking, temperaturvariasjoner (temperaturspenninger), svinn, erosjon.

Biologiske nedbrytningsmekanismer oppstår pga. groing av vegetasjon. Oftest er det lav mose og plantevekst på betongoverflaten. Vegetasjon og organiskmaterialer vanligvis festes på betongoverflater, men kan også være i betongsprekker.

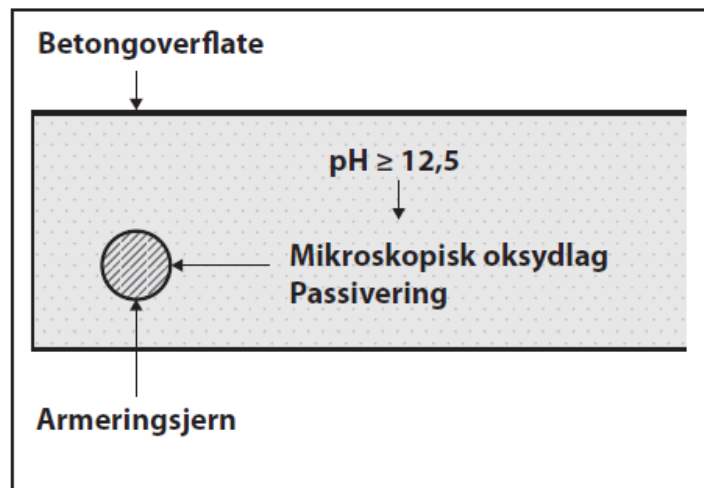
Kjemiske nedbrytningsmekanismer i betong er vanligvis armeringskorrosjon pga. karbonatisering, kloridintregning eller syreangrep. Betong har god motstand mot angrep av svake syrer, men syrer som har pH <4,5 kan forårsake aggressive kjemiske angrep på betong. Betong må helst ha lav v/c–forhold, og helst mindre en 0,45, for at kapillærporene blokkeres

og hindrer syreangrepene [6] Alkalireaksjoner er en fysisk-kjemisk nedbrytningsmekanisme som skyldes kjemiske reaksjoner mellom alkalireaktive bergarter i tilslaget og alkalier i sementpastaen. Reaksjonsproduktet er en alkaligel som sveller under vannabsorpsjon. Dette fører til ekspansjon av betongen og etter hvert opprissing og eventuell videre nedbrytning i kombinasjon med andre følgeskader. [10]

4.2.1 Korrosjon

Korrosjon er angrep eller tæring på et materiale forårsaket av kjemiske og/eller fysiske reaksjoner mellom materialet og stoffer i omgivelsene, slik at materialet brytes ned. [16]

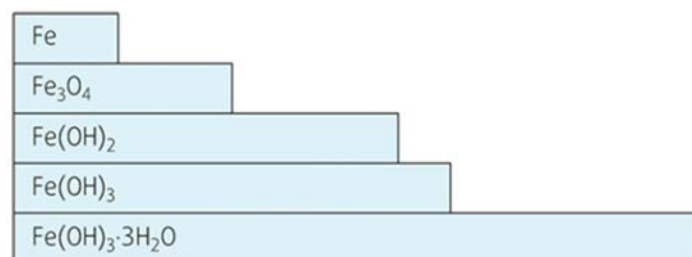
Betong er sterkt alkalisk med en pH-verdi av porevannet større enn pH 12. Når pH verdien er så høy dannes et mikroskopisk oksydlag på armeringens overflate, passivering. Passiveringen hindrer oppløsning av jern. Dette hindrer korrosjon på armeringen, selv om alle andre forutsetninger for korrosjon er til stede (hovedsakelig fuktighet og oksygen).



Figur 4 Plassering av oksidlag rundt armering [35]

Korroderingsprosess er en ekspanderende kjemisk prosess hvor jern (armering) i betongen utvider sin volum pga. dannelse av jernoksid ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), og med det øker spenninger i betongen.

Illustrasjon nedenfor viser noen av korrosjonsproduktene som har større volum enn metallet. Enkelte korrosjonsproduktene kan ha opptil 10 ganger så stor volum som jern. [16]



Figur 5 Volumekspansjon ved korrosjon [16]

Rustdannelsen skjer ved en elektrokjemisk prosess med anode og katode. Hvor det ved anoden skjer en oksidasjon som frigjør elektroner, og Fe^{2+} (oppløst jern, ioner) oppstår. Ved katoden skjer en reduksjons reaksjon som tar til seg elektroner og danner hydroksid ioner (2OH^-).

Stål gir fra seg elektroner = anodereaksjon

Oksygen mottar elektroner = katodereaksjon

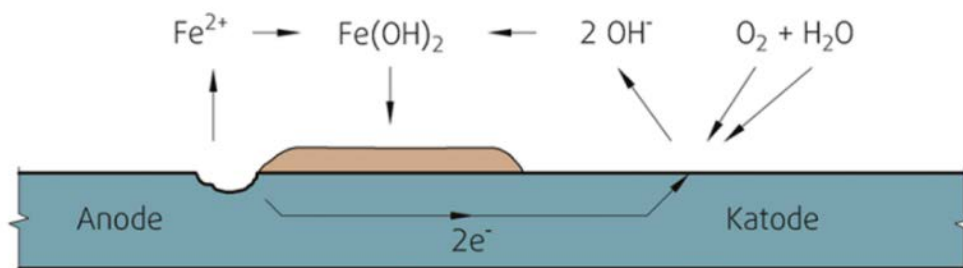
- Anodeprosessen er oppløsning av jern.

Anodereaksjon: $\text{Fe (jern)} \rightarrow \text{Fe}^{2+} \text{ (oppløst jern, ioner)} + 2 \text{e}^- \text{ (elektroner)}$

- Ved katoden vil overskytende elektroner i stålet forbinde seg med vann og oksygen og danne hydroksidioner.

Katodereaksjon: $\frac{1}{2} \text{O}_2 \text{ (oksygen)} + \text{H}_2\text{O} \text{ (vann)} + 2\text{e}^- \text{ (elektroner)} \rightarrow 2\text{OH}^- \text{ (hydroksid, ioner)}$

Total korrosjonsreaksjon: $\text{Fe (jern)} + (\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}) \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe(OH)}_2 \text{ (jernoksid)}$
[16]

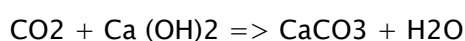


(Figur hentet fra SINTEF Byggforskserien, Byggedetaljblad 520.061 "Armeringskorrosjon", 2009)

Figur 6 Armeringskorrosjon [16]

4.2.2 Karbonatisering

Karbonatisering er prosess hvor karbondioksid CO_2 fra lufta reagerer med kalsiumhydroksid i betongen, og danner kalkstein eller kalsiumkarbonat. [6] Denne prosessen fører at betongens pH-verdi reduseres, og kjemiskreaksjon kan beskrives slik:

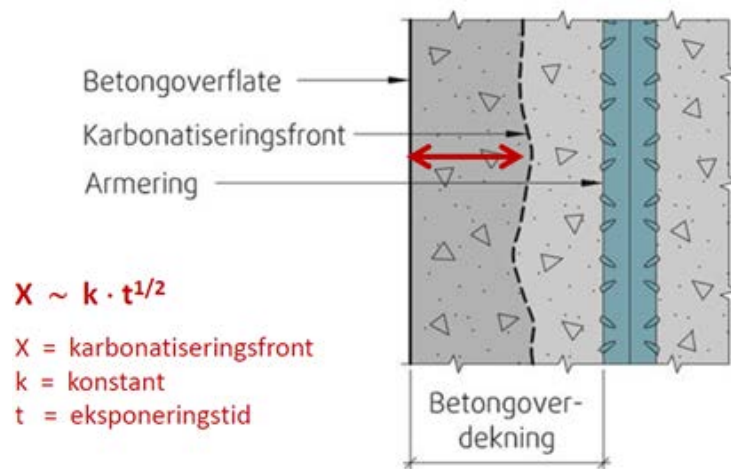


Vanligvis pH verdi i ny betong er rundt 12,5 men når pH verdi nærmer seg 8–9, sier vi at betong er «karbonatisert» og at korrosjonsprosess er i gang. Armeringen mister oksidsjiktet og betong som omslutter jernet vil ikke lenger beskytte dette mot korrosjon.

Karbonatiseringsfront kan beskrives som dybde av infisert eller karbonatisert betong. Figur 8 illustrerer karbonatisering og hvordan beregnes dybde av karbonatiseringsfront. Det er verdt

å merke at med tiden karbonatiseringsfront avtar i hastighet, dvs. at inntrengning av CO₂ er vanskeligere.

Figur 6 viser karbonatiseringsfront og beregningsprinsipp.



(Figur hentet fra SINTEF Byggforskserien, Byggdetaljblad 520.061 "Armeringskorrosjon", 2009)

Figur 7 Illustrasjon av karbonatisering [16]

Enkleste betongkonstruksjoner kan ha variasjon i karbonatiseringsdybde, som for eksempel i Helltunnelen som ligger på E6 mellom Hommelvik og Hell, nord for Trondheim. Tunnelen ble åpnet for trafikk i 1996. Tunnelen har ett løp med toveis trafikk og er 3928 meter lang. Målt karbonisertydpe varierer fra 4,5 mm, helt til 17,1 mm. [17]

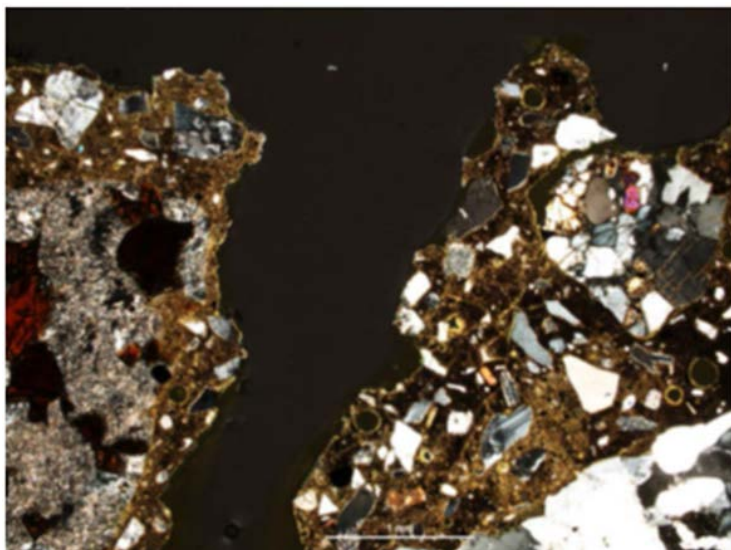
Nøkkeltall for karbonatiseringsdybder	[mm]
Gjennomsnitt alle karbonatiseringsdybder	9,2
Minste registrerte karbonatiseringsdybde	4,5
Største registrerte karbonatiseringsdybde	17,1

Figur 8 Karbonatiseringsdybde målt i Heltunnelen på E6 [17]

Etter måling det ble konkludert at i elementene øker karbonatiseringsdybden med økende høyde fra vegbanen. Gjennomsnittlig overdekning i Helltunnelen er 44,9 mm, og dermed per dagsdato karbonatisering utgjør ingen stor risiko for armeringskorrosjon. [17]

Ved påføring av pH-indikator (fenolftalein) kan det måles om en betong er karbonatisert eller ikke.

Bilde nedenfor viser en sterk karbonatisert betong etter spraying med indikatorvæske (fenolftaleinopløsning).



Figur 9 Karbonatisert betong [9]

Figur 10, viser fire betongprøver etter spraying med indikatorvæske. De tre første prøvene viser ingen karbonatisering, og den siste har karbonatiseringsdybde ca. 20 mm.

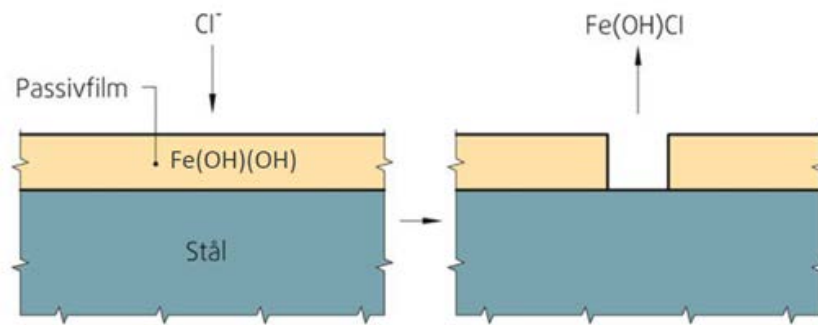


Figur 10 Betongprøver sprayet med indikatorvæsker [17]

4.2.3 Kloridinntrengning

Korrosjon på grunn av kloridinntrengninger er mer alvorlig enn ved karbonatisering, fordi korrosjonen kan foregå lokalt. I følge Birger Søpler [1] klorider i betong kommer enten fra ytre miljø eller fra selve betongmassen. Klorider kommer i dag i stor grad fra det ytre miljø ved for eksempel konstruksjoner nær kysten, marine konstruksjoner og veisaltning. Saltet blir oppløst i vann og vil trenge gjennom betongens kapillær/poresystem.

Når kloridinnholdet i betongen rundt armeringen blir tilstrekkelig høyt, og relativ fuktighet høy, ødelegges den korrosjonsbeskyttende oksidfilmen $Fe(OH)_2$, på armeringen, og korrosjon oppstår.

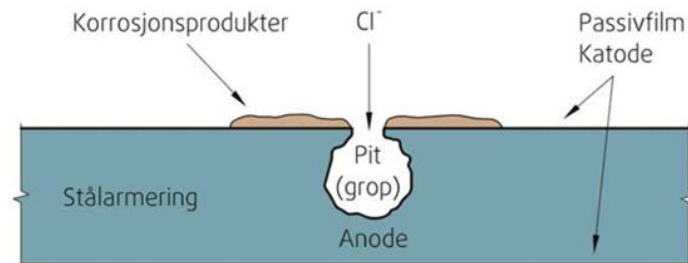


(Figur hentet fra SINTEF Byggeforskeren, Byggedetaljblad 520.061 "Armeringskorrosjon", 2009)

Figur 11 Armeringskorrosjon pga. kloridinntrenging [16]

Både kloridinntrenging og karbonatisering er prosesser som avtar i hastighet etter hvert som de trenger inn i betongen. En halvering av overdekningen kan derfor føre til at initieringsperioden blir inntil 4–5 ganger kortere. [1]

Spesielt farlig med kloridinntrenging er «Pitting-korrosjon = groptæring», korrosjonsangrep kan være veldig kraftig og konsentrert på en liten område.



(Figur hentet fra SINTEF Byggeforskeren, Byggedetaljblad 520.061 "Armeringskorrosjon", 2009)

Figur 12 Illustrasjon av "pitting-korrosjon" [16]

Figur nedenfor viser forhold mellom kloridinnhold og korrosjonsrisiko. Kritisk kloridkonsentrasjon er ved kloridkonsentrasjoner >2% av sementvekt.

Kloridinnhold (% av sementvekt)	Korrosjonsrisiko
< 0,4	Minimal
0,4 – 1,0	Mulig
1,0 – 2,0	Sannsynlig
> 2,0	Sikker

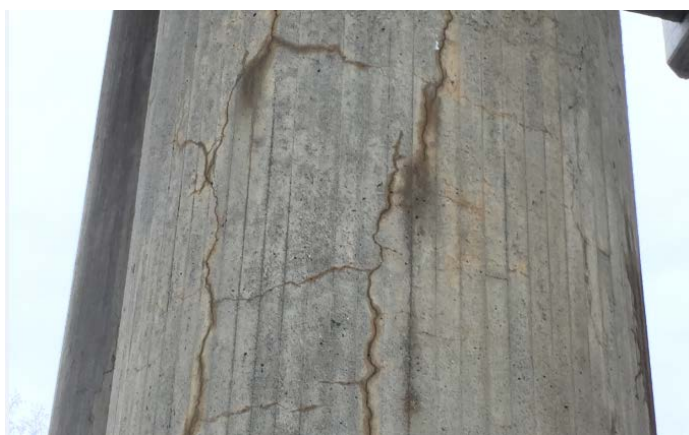
Figur 13 Kloridkonsentrasjon i betong og risikonivåer [16]

4.2.4 Alkalireaksjoner

Alkalireaksjoner er en kjemisk-fysisk prosess som skyldes kjemiske reaksjoner mellom alkalireaktive bergarter i tilslaget og alkalier i sementpastaen. Reaksjonsproduktet er en alkaligel som sveller under vannabsorpsjon. Dette fører til ekspansjon av betongen og etter hvert opprissing og eventuell videre nedbrytning i kombinasjon med andre følgeskader.

Alkalireaksjonens natur tilsier at det først og fremst er strekkfastheten til betongen som reduseres. Ved ekspansjoner over f.eks. 1,0 ‰, kan opprissing føre til at strekkfastheten er tilnærmet lik null lokalt i noen retninger. Trykkfastheten til betongen reduseres også noe med ekspansjonen, men normalt først ved ganske stor ekspansjon (2–3 ‰) eller delaminering. [10] Krakelering og oppsprekking er typiske skader som oppstår og gjør konstruksjon mer utsatt for vanninntrenging, frostskaider, transport av klorider og karbondioksid. Pga. økt spenning i betongen, armering blir utsatt for ekstra belastning og konstruksjonskapasitet kan svekkes. For at alkalireaksjon oppstå er det nødvendig at tre faktorer er til stedet: alkalier, reaktiv tilslag og vann. Alle tre betingelsene skal være til stedet samtidig for at alkalireaksjon oppstår. Relativ fuktighet RF > ca. 80 %.

Bilde nedenfor viser alkalireaksjoner i søylen på Elgeseter bru i Trondheim 2017.



Figur 14 Alkalireaksjoner i brusøylen på Elgeseter bru i Trondheim

Siden alle tre betingelser, dvs. alkalier, reaktiv tilslag og vann, må være til stedet samtidig for at alkalireaksjoner oppstår, å hindre vanninntrenging kan være en effektiv måte å stoppe alkalireaksjoner. Riss og sprekker kan lukkes og betongoverflate behandles mot vanninntrenging.

Bilde nedenfor er tatt ved rehabilitering av Elgeseter bru i Trondheim. Betongsprekker pga. alkalireaksjoner er tettet.



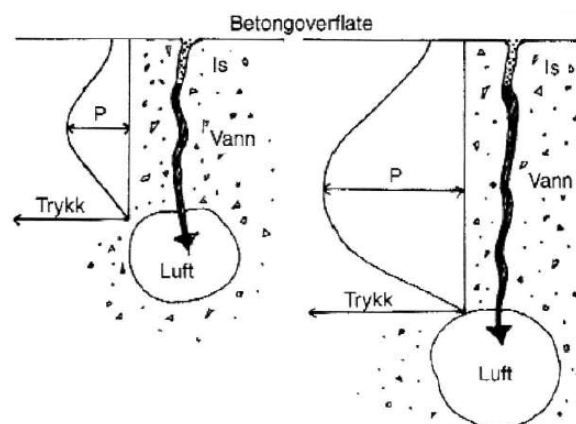
Figur 15 Rehabilitering av Elgeseter bru i Trondheim [45]

4.2.5 Frostskader i betong

I følge Hedda Vikan fra Statens vegvesen [27] betong som ikke er vannmettet vil suge vann fra omgivelsene for å oppnå fuktlikevekt. Betongen også inneholder vann som ikke er brukt opp av sementhydratasjonen. Ved frost, utvides vann i betongen med 9 vol%, som igjen øker spenning i betongen.

Hvis spenninger overstiger betongens strekkapasitet dannes riss og sprekker i betongen. Vann i sprekker og riss vil ved frysing begynne å ekspandere og medvirke til avskalling. Konsekvenser av frostnedbrytning er volumnedbrytning og overflatenedbrytning.

Illustrasjon nedenfor illustrerer prinsipp og viser hvordan indre trykk/spenningsoppbygging (P) øker med økende avstand mellom luftporene (L). [27]



Figur 16 Spenningsoppbygging i betong pga. frøst [27]

Frostmostand sikres ved hjelp av små og jevnt fordelte luftporer [27]. Statens vegvesen stiller krav til luft ved fremstilling av betong som er brukt på sine prosjekter. Disse krav er i forhold til NS-EN 206-1+NA, og beskrevet i Prosesskode 2 [50]. Minimum 4% luft for betong MF40 og MF45. Dersom betongens frostbestandighet ikke dokumenteres på annen måte, skal luftporevolumet målt i den ferske betongen umiddelbart før utstøping (etter eventuellpumping) være 5% +/- 1,5 %.

Volumnedbrytning presenteres som desintegrering av betong og redusering av mekaniske egenskaper. Overflatenedbrytning reflekteres ved reduksjon av betongtverrsnitt og armeringskorrosjon. [45]



Figur 17 Frostskader, foto Tor Helge Johansen, 2009 [27]

For å hindre frostskafer i betong gjennom herdingsprosess, Statens vegvesen stiller krav også til utførelse gjennom Prosesskode 2, og underprosesser 84.4 og 84.5. [50]

Kapitel 5 Tilstandsvurdering og registrering

Når skader er oppdaget, bør det gjennomføres undersøkelser og vurderinger for å fastslå skadeårsak og skadeomfang, samt vurdere videre skadeutvikling. Opprinnelige årsaker til skader må identifiseres.

Gjennomføringen av en tilstandsvurdering og registrering krever en del kunnskap om konstruksjoner, byggematerialer og skademekanismer. Mye av tilstandsvurdering kan utføres med visuell kontroll og enkelt måleutstyr, mens mer inngående vurderinger og beregninger krever tilgang på en del spesialutstyr.

Den visuelle kontrollen utgjør en viktig del av en tilstandsanalyse. Ved den visuelle kontrollen kan det kontrolleres om de enkelte elementene har alvorlige skader, mangler eller feil.

En erfaren person med god kjennskap til skademekanismer, statikk, miljøpåvirkninger og byggemåter, vil ofte gjennom en visuell kontroll avdekke klare indikasjoner på skadeårsaker. En tilstandsvurdering har til hensikt å kartlegge skadeomfanget og skadeårsakene. Formålet med en tilstandsvurdering er:

- Gi en beskrivelse av bruas tilstand
- Finne årsaker til at påviste skader har oppstått
- Kartlegge skadeomfang
- Avdekke reparasjonsbehov
- Danne grunnlag for prosjektering av rehabiliteringsløsninger
- Danne grunnlag for kostnadsestimering

5.1 Inspeksjoner og datalagring

Som tidligere sagt, Statens vegvesen har ansvar for de om lag 17.000 bruene på det norske vegnettet, hvor alle bruer er detaljert oppførte. [49]

I følge Vegvesens brudirektør Børre Stensvold [09.02.2015], i 2014 ble det utført 5981 inspeksjoner av bruene på riks og fylkesveiene. Hver eneste veibru, gang og sykkelbru, kulvert og støttemur har en «helsejournal» i forvaltningssystem «Brutus».

Forvaltningssystemet inkludert inspeksjoner, er generelt basert på håndbok N401, N400, 136, 147 og V441.

- **Håndbok N401**, Bruforvaltning fylkesveg, Forvaltning av bærende, konstruksjoner på fylkesveg [2017]
- **Håndbok N400**, Bruprosjektering, Statens vegvesen, Vegdirektoratet. [2015].
- **Håndbok 136**, Inspeksjonshånd-bok for bruer, er retningslinjer for gjennomføring av bruinspeksjoner.
- **Håndbok 147**, Forvaltning, drift og vedlikehold av bruer, gir generelle bestemmelser om når og hvordan bruinspeksjoner skal gjennomføres.
- **Håndbok V441**, Inspeksjonshåndbok for bruer, er veiledning om hvordan inspeksjoner skal gjennomføres.

Etter at overlevering av en bru er gjennomført, utføres inspeksjoner på brua i resten av levetiden. I det inspeksjonsprogrammet inngår følgende inspeksjonstyper:

- **Enkelinspeksjon** (utføres hvert år)
 - **Hoved inspeksjon** (utføres hvert 5 år)
 - **Spesialinspeksjon** (utføres etter behov)
- Bruer under 10 meter har inspeksjon hvert annet år og hoved inspeksjon hvert tiende.

Enkelinspeksjon kontrollerer om det er skader som kan påvirke konstruksjonens bæreevne, trafiksikkerhet, framtidig vedlikehold eller som påvirker miljøet, estetikken negativt. En enkel inspeksjon skal bestå av en enkel visuell inspeksjon av alle elementer over vann, uten bruk av tilkomststyr. Det generelle kravet er at en enkel inspeksjon skal utføres hvert år. [25]

Hovedinspeksjon kontrollerer at brua fyller sin funksjon. I tillegg skal inspeksjonen avdekke eventuelle behov for drifts og vedlikeholdstiltak. Hovedinspeksjon omfatter en nær visuell inspeksjon av hele brukonstruksjonen, supplert med nødvendige materialundersøkelser og oppmålinger. Det er egne hovedinspeksjonsrutiner for fundamenter under vann. Det generelle kravet er at en hovedinspeksjon skal utføres hvert 5. år for bruer og hvert 3. år for ferjekaier og bevegelige bruer. [25]

Spesialinspeksjon undersøker nærmere allerede påviste skader, bevegelser og nedbrytningsmekanismer, samt dannes grunnlag for beskrivelse av kostbare og/eller kompliserte tiltak.

En spesialinspeksjon omfatter normalt både visuell kontroll, oppmålinger og materialundersøkelser, enten på spesielt utsatte/skadede elementer eller på hele brua. En spesialinspeksjon utføres ved behov. [25]

Inspeksjonsundersøkelser skal vise:

- Om konstruksjon oppfyller funksjonskrav og krav i NS og HB.
- Undersøke vedlikeholds og reparasjonsbehov
- Avklare årsaker til skader
- Skadeomfang
- Gi grunnlag for reparasjonsbeskrivelse og kostnadsestimering

5.2 Brutus

BRUTUS er Statens vegvesens informasjons og planleggingsverktøy for forvaltning, drift og vedlikehold av bruer og andre byggverk i vegnettet. [25]

Systemet BRUTUS er inndelt i fire ulike moduler:

- Byggverk
- Inspeksjon
- Vedlikehold
- Kostnad

Byggverksmodulen gir en landsdekkende og detaljert oversikt over bruer og andre byggverk i det offentlige vegnettet. Den inneholder teknisk og administrativ informasjon om hver enkelt bru, brunummer, brunavn, vegidentitet, byggverkstype, byggverkselementer, lengde, lastdata, byggeår, grunnforhold m.m.

Inspeksjonsmodulen er for å planlegge og gjennomføre inspeksjoner av bruene. Den inneholder inspeksjonsplaner, registrerte tilstandsdata og fotodokumentasjon og en skadevurdering med alvorlighetsgrad, årsak, omfang og estimat over utbedringskostnader.

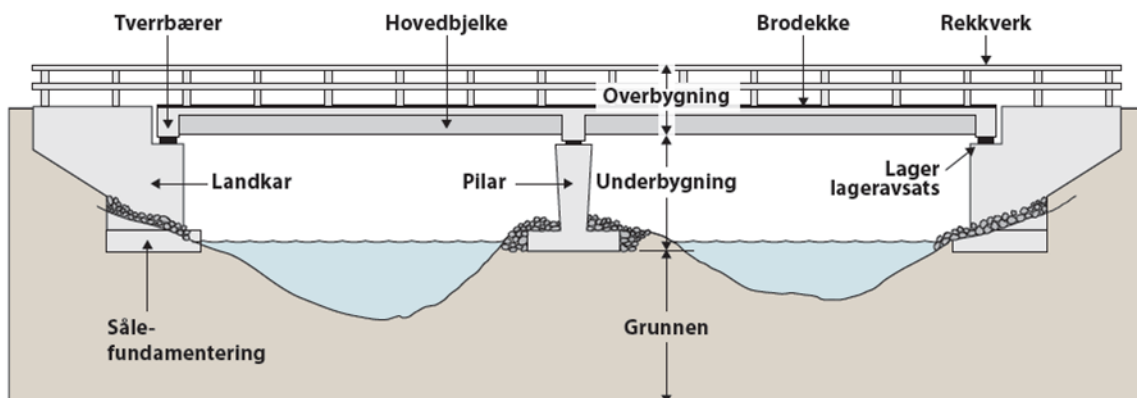
Vedlikeholdsmodulen er hjelpemidler for å prioritere, planlegge og gjennomføre vedlikeholdet på en samfunnsøkonomisk riktig måte. Vedlikeholdsmodulen inneholder blant annet vedlikeholdsplaner for hvert byggverk, årlige vedlikeholdsprogrammer og oversikt over hvilke tiltak som er utført.

Kostnadsmodulen gir støtte til budsjettplanlegging og inneholder budsjettplaner for drift og vedlikehold, kostnadsdata for typiske vedlikeholdsarbeider og en oversikt over byggverkernes kapitalverdi i forhold til alder og registrert vedlikeholdsbehov. [25]

5.3 Kodesystem ved inspeksjon og vurdering

Bruelementer

For å kunne beskrive bruer i detalj deles de inn i hensiktsmessige mindre deler eller komponenter som kalles elementer. Det er utarbeidet betegnelser for elementene utfra fysisk plassering i konstruksjonen, konstruktiv virkemåte, type, funksjon, egenskaper osv.



Figur 18 Bruelementer [35]

For å sikre ensartet registrering, vurdering, rapportering og datalagring i **BRUTUS**, er det i **Håndbok 136** beskrevet koder for følgende hovedområder: [26]

- Byggverkstyper (f. eks. betong, stål, samvirkebru, frit-frem bru, osv.)
- Elementtyper (f. eks. landkar, brudekke, spennkabler, osv.)
- Skadetyper (f. eks. korrosjon, betongskade, brudd, riss, osv.)
- Skadegrad (1–4)

- **Skadekonsekvens (B, T, V, M)**
- Skadeårsaker (f. eks. karbonatisering, kloridinntrenging, alkalireaksjoner, støt, frøst, osv.)

Skadegrad angir skadens alvorlighetsgrad og eventuelt hvor raskt den må repareres.

Følgende tallkoder gjelder (1–4)

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

Skadekonsekvens angir hvilken konsekvens en skade har for brua eller omgivelsene, enten nå eller på sikt.

Følgende bokstavkoder gjelder (**B, T, V, M**)

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

Kapitel 6 Strategier, prinsipper, systemer, metoder og standarder

Når konstruksjon er inspisert og kontrollert av fagfolk, vurderes reparasjonstiltak. Reparasjonstiltak kan vurderes ut av flere strategier.

6.1 Vedlikeholds strategier

Vedlikeholds strategier utarbeides for å finne den samfunnsøkonomisk beste måten å vedlikeholde objekter på over et antall år, gitt at det måtte skje innafor gitte årlige budsjetter. [24]

Formål er å øke levetid av konstruksjoner, bevare god tilstand, funksjon, beholde bæreevne, geometri, estetikk, samt unngå å skade miljø.

Ved vurdering av ulike mulige strategier og tilhørende konsekvenser må ulike forhold undersøkes, f.eks. utførelseskostnader, vedlikeholdskostnader og eventuelle behov for å innføre bruksbegrensninger for konstruksjonen.

Flere metoder for beskyttelse og reparasjon kan kombineres. Mulige ugunstige effekter av de valgte metodene og konsekvensene av samvirke mellom dem må vurderes. [NS1504-9]

Når konstruksjonsbehovet for tiltak, som forekommer etter en hoved inspeksjon eller spesialinspeksjon, overskrider 20% av bruas nyverdi, bør det utredes alternative strategier for tiltak. Det skal utredes minst to forskjellige strategier avhengig av hva som er relevant. [18]

6.2 Prinsipper og metoder anvendt i Statens vegvesen

Prinsipper og metoder for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner som anvendes i Statens vegvesen er basert på NS EN 1504, hvor er prinsipper ifølge NS EN 1504 delt i to deler og disse er:

- **Prinsipper og metoder ved skadet betong**
- **Prinsipper og metoder ved armeringskorrosjon**

Prinsipper ved skadet betong er følgende:

- Beskyttelse mot inntrenging
- Regulering av fuktinnhold
- Gjenoppbygging av betong
- Forsterkning av konstruksjonen
- Økning av fysisk motstand
- Økning av motstand mot kjemikalier

Prinsipper ved armeringskorrosjon er følgende:

- Gjenoppretting av passivitet
- Økning av elektrisk motstand
- Katodisk regulering
- Katodisk beskyttelse

- Regulering av anodiske områder

Disse prinsipper er hovedsakelig behandling eller erstatning av betongen som omgir armeringen for å redusere risikoen for korrosjon. Ifølge EN-NS1504, prinsipper ved skadet betong er delt i følgende metoder

6.2.1 Prinsipper ved skadet betong delt i metoder

- **Beskyttelse mot inntrenging**
 - Hydrofoberende impregnering
 - Impregnering
 - Belegg
 - Forsegling av riss
 - Gjenfylling av riss
 - Etablering av fuger i riss
 - Innkledning
 - Membraner
- **Regulering av fuktinnhold**
 - Hydrofoberende impregnering
 - Impregnering
 - Belegg
 - Innkledning
 - Elektrokjemisk behandling
- **Gjenoppbygging av betong**
 - Håndmørtling
 - Støping med betong eller mørtel
 - Sprøyting med betong eller mørtel
 - Utskifting av elementer
- **Forsterkning av konstruksjonen**
 - Supplering eller utskifting av innstøpt eller ekstern armering
 - Montering av armering forankret i utsparende eller borende hull
 - Liming av forsterkningsplater
 - Påstøping med mørtel eller betong
 - Injisering av riss, hulrom eller mellomrom
 - Gjenfylling av riss, hulrom eller mellomrom
 - Forspenning - etterspenning
- **Økning av fysisk motstand**

- Belegg
- Impregnering
- Påstøping med mørtel eller betong
- **Økning av motstand mot kjemikalier**
 - Belegg
 - Impregnering
 - Påstøping med mørtel eller betong

6.2.2 Prinsipper ved armeringskorrosjon, gjenoppretting av passivitet, delt i metoder.

- **Bevaring eller gjenoppretning av passivitet**
 - Øking av overdekning med mørtel eller betong.
 - Der armering er passiv, kan et ekstra lag med mørtel eller betong påføres utenpå karbonatisert betong for å gi ekstra beskyttelse).
 - Erstatning av infisert eller karbonatisert betong.
 - Der armering har tapt passiviteten som et resultat av karbonatisering eller kloridinntrenging kan konstruksjonen repareres ved å erstatte infisert eller karbonatisert betong med ny betong eller mørtel.
 - Elektrokjemisk realkalisering av karbonatisert betong.
 - Der armering er aktiv eller passiv, kan ekstra korrosjonbeskyttelse tilføres ved elektrokjemisk realkalisering, som øker alkaliteten i karbonatisert betong og gjør armering passiv.
 - Realkalisering av karbonatisert betong ved diffusjon.
 - Metoden basseres på å påføre en sterk alkalisk sementholdig betong eller mørtel på overflaten av karbonatisert betong, slik at underbetong realkaliseres ved difusjon fra den nye betong.
 - Elektrokjemisk kloriduttrekk.
 - Der armeringens passivitet er ødelagt eller truet på grunn av inntrenging av klorider, kan korrosjonsbeskyttelsen gjenopprettes ved elektrokjemisk kloriduttrekk. Behandling reduserer kloridinnholdet i betongen som omgir armeringen og sørger for passivitet.

- **Økning av elektrisk motstand**
 - Hydrofobereende impregnering
 - Impregnering
 - Belegg
- **Katodisk regulering**
 - Begrensning av oksygeninnholdet (ved katoden) ved metning eller overflatebelegg
- **Katodisk beskyttelse**
 - På trykking av elektrisk potensial
- **Regulering av anodiske områder**
 - Påføring av aktiv belegg på armeringen
 - Forsegling av armeringen
 - Bruk av korrosjonsinhibitorer i eller på betongen

Prinsipper og metoder for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner vist på tabell i NS-EN1504.

Prinsipp	Eksempler på metoder basert på prinsippene	Relevant del av NS-EN 1504 (der det er aktuelt)
Prinsipper og metoder ved skader i betong		
1. Beskyttelse mot inntrenging	1.1 Hydrofobereende impregnering	2
	1.2 Impregnering	2
	1.3 Belegg	2
	1.4 Forsegling av riss	
	1.5 Gjenfylling av riss	5
	1.6 Etablering av fuger i riss	
	1.7 Innkledning ^a	
	1.8 Membraner ^a	
2. Regulering av fuktinnhold	2.1 Hydrofobereende impregnering	2
	2.2 Impregnering	2
	2.3 Belegg	2
	2.4 Innkledning	
	2.5 Elektrokjemisk behandling	
3. Gjenoppbygging av betong	3.1 Håndmørtel	3
	3.2 Støping med betong eller mørtel	3
	3.3 Sprøyting med betong eller mørtel	3
	3.4 Utskifting av elementer	
4. Forsterkning av konstruksjonen	4.1 Supplering eller utskifting av innstøpt eller eksternt armering	
	4.2 Montering av armering forankret i utsparede eller borede hull	6
	4.3 Liming av forsterkningsplater	4
	4.4 Påstøping med mørtel eller betong	3, 4
	4.5 Injisering av riss, hulrom eller mellomrom	5
	4.6 Gjenfylling av riss, hulrom eller mellomrom	5
	4.7 Forspenning – (etterspenning)	
5. Økning av fysisk motstand	5.1 Belegg	2
	5.2 Impregnering	2
	5.3 Påstøping med mørtel eller betong	3
6. Økning av motstand mot kjemikalier	6.1 Belegg	2
	6.2 Impregnering	2
	6.3 Påstøping med mørtel eller betong	3
Prinsipper og metoder ved armeringskorrosjon		
7. Bevaring eller gjenoppretting av passivitet	7.1 Økning av overdekning med mørtel eller betong	3
	7.2 Erstatning av infisert eller karbonisert betong	3
	7.3 Elektrokjemisk realkalisering av karbonisert betong	
	7.4 Realkalisering av karbonisert betong ved diffusjon	
	7.5 Elektrokjemisk kloriduttrekk	
8. Økning av elektrisk motstand	8.1 Hydrofobereende impregnering	2
	8.2 Impregnering	2
	8.3 Belegg	2
9. Katodisk regulering	9.1 Begrensning av oksygeninnholdet (ved katoden) ved metning eller overflatebelegg	
10. Katodisk beskyttelse	10.1 Påtrykking av et elektrisk potensial	
11. Regulering av anodiske områder	11.1 Påføring av aktivt belegg på armeringen	7
	11.2 Forsegling av armeringen	7
	11.3 Bruk av korrosjonsinhibitorer i eller på betongen	

^a Disse metodene kan også være aktuelle for andre prinsipper.

Figur 19 Prinsipper og metoder i NS-EN1504 del 9 [2017]

6.3 Standarder

6.3.1 Standard NS-EN1504 Del (1-10)

NS-EN 1504 Del (1-10) beskriver krav til produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner. Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar.

NS-EN 1504 Del (1-10) Gjeldende i Norge fra 1. januar 2009

Standard Norge	Standard Norge	Standard Norge	Standard Norge	Standard Norge	Standard Norge	Standard Norge	Standard Norge	Standard Norge	Norsk Standard NS-EN 1504-10
Produktreparasjon Definisjon evaluering Del 1: Definisjoner	Produktreparasjon Definisjon evaluering Del 2: Systemer	Produktreparasjon Definisjon evaluering Del 3: Rekkebærende	Produktreparasjon Definisjon evaluering Del 4: Lim	Produktreparasjon Definisjon evaluering Del 5: Injeksjon	Produktreparasjon Definisjon evaluering Del 6: Forankring	Produktreparasjon Definisjon evaluering Del 7: Korrosjonsbeskyttelse	Produktreparasjon Definisjon evaluering Del 8: Samsvar	Produktreparasjon Definisjon evaluering Del 9: Almenne regler og systemer	Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betong Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar Del 10: Bruk av produkter og systemer på byggeplass og kvalitetskontroll av utførelsen

Figur 20 Oversikt over NS-EN1507 (1-10) [7]

NS-EN1504 (1-10) er delt i følgende delene:

NS-EN 1504-serien

- ∨ Del 1: Definisjoner
 - ∨ Del 2: Systemer for overflatebehandling
 - ∨ Del 3: Reparasjoner for bærende og ikke-bærende formål
 - ∨ Del 4: Lim for konstruktive formål
 - ∨ Del 5: Injeksjon av betong
 - ∨ Del 6: Forankring av armeringsstang
 - ∨ Del 7: Korrosjonsbeskyttelse av armering
 - ∨ Del 8: Kvalitetskontroll og vurdering av samsvar
 - ∨ Del 9: Almenne regler for bruk av produkter og systemer
 - ∨ Del 10: Bruk av produkter og systemer på byggeplass og kvalitetskontroll av utførelsen
- "Harmoniserte produktstandarder" (omfatter Del 1-7)
- "Leverandørstandarden" (omfatter Del 8)
- "Rådgiverstandarden" (omfatter Del 9)
- "Entreprenørstandarden" (omfatter Del 10)

Figur 21 Inndeling av NS-EN1504 [7]

Illustrasjoner er tatt av [7] Eva Rodum, Betongrehabilitering – ny veiledning i bruk av standardverket, http://www.vegvesen.no/_attachment/275076/binary/485342,

Standard NS-EN 1504-9, brukes for valg av strategi, prosjektering og beskrivelse av riktig reparasjonsprinsipp og metoder.

NS-EN 1504 del 2-7, Beskriver krav til egenskaper (produktstandardene).

NS-EN 1504-10, Bruk av produkter og systemer på byggeplass og kvalitetskontroll av arbeidet (kontrollplaner og systemer). [32]

6.3.2 Spesialstandarder

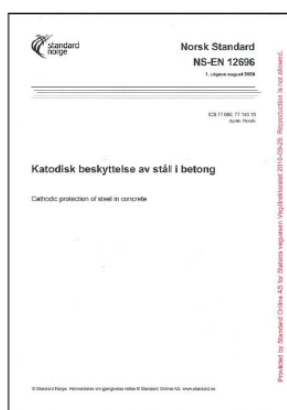
Øvrige relevante EN-standarder for betongrehabilitering er så kalte «spesialestandarder» NS-EN 12696, CET/TS 14038-1, NS-EN 14487 del 1 og 2.

NS-EN 12696, Katodisk beskyttelse.

CEN/TS 14038-1, Elektrokjemisk realkalisering

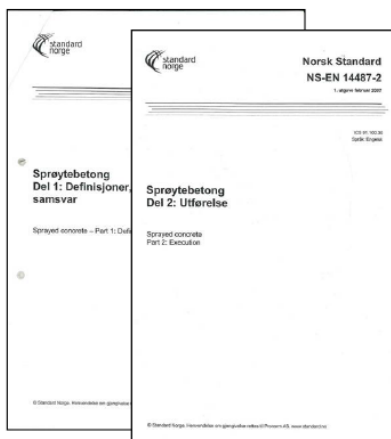
NS-EN 14487 Del 1 og 2, Sprøytebetong. [32]

Katodisk beskyttelse er omfattende reparasjonsmetode slik at katodisk beskyttelse har en egen standard NS-EN12696 for seg selv. Det gjelder også for Elektrokjemisk realkalisering som har sin egen spesiellstandard CEN/TS 14038-1.



Figur 22 Spesiellstandard NS-EN12696 [7]

Spesiellstandard NS-EN 14487 som handler om sprøytebetong er delt i to deler. Del 1 omfatter definisjoner, spesifikasjoner og samsvar, og del 2 omfatter utførelse. Denne europeiske standarden bygger på EN 206-1.



Figur 23 Spesielle standarder CET/TS 14038-1, 14487 del 1 og 2 [7]

6.4 Kriterier for valg av reparasjonsmetode

Kriterier for valg av reparasjonsmetode er en kombinasjon av: tekniske og funksjonelle krav, økonomi, konstruksjonstype, skadeomfang, dimensjon, form, tilgjengelighet, sikkerhet,

utstørsbehov (tung eller lett), tilgjengelig kompetanse, i stor grad bestemmer hvilken metode kommer til å velges. [2]

Reparasjon av bærende konstruksjoner utføres for å bevare bæreevne eller for å øke bæreevne av konstruksjon. Stikkord er: lastekapasitet, prøvebelastning i bruksgrensetilstand, nedbøyingsmåling, tøyning, vinkelendring, setninger, osv.

Reparasjon av ikke bærende konstruksjoner i hovedprinsipp skjer når betong eller konstruksjon har mistet evne til å beskytte armering, og estetikk. Skadet betong fjernes og erstattes med ny betong. Stikkord er: funksjon, levetid, estetikk.

Reparasjonssystemer er materialene og utførelsesmetodene som brukes for å erstatte og/eller beskytte den gamle betong mot fortsatt nedbryting. [6]

Kravene til et reparasjonssystem kan fastsettes når vi kjenner de ytre påkjenningene, hvilke nedbrytings mekanismer som påvirker betong, og hvilken livslengde betongen skal ha.

6.4.1 Planlegging av vedlikehold og reparasjon av betong

Håndbok R762, Prosesskode 2, Hovedprosess 8, er et av viktigste redskapene ved planlegging av vedlikehold og betongreparasjoner i Statens vegvesen. **Prosesskode 2** er i sin helhet elektronisk tilgjengelig på www.vegvesen.no, og i bokform.

Dette er en håndbok i Statens vegvesens håndbokserie, og en samling av publikasjoner som først og fremst er beregnet for bruk innen etaten. Vegdirektoratet har hovedansvaret for utarbeidelse og ajourføring av håndbøkene i Statens vegvesen. Prosesskoden består av to deler:

Håndbok R761 Prosesskode 1:

Standard beskrivelsestekster for veikontrakter, hovedprosess 1–7.



Figur 24 R761, Prosesskode 1 [50]

Håndbok R762 Prosesskode 2

Standard beskrivelsestekster for bruer og kaier, hovedprosess 8.



Figur 25 R762, Prosesskode 2 [50]

Disse to håndbøkene utgjør til sammen Statens vegvesens standardtekster til bruk i spesifikasjoner for entreprisekontrakter. Prosesskodene brukes i tillegg som ledd i etatens styring av prosjektgjennomføring.

Prosesskode 2 er Statens vegvesen som byggherre sine tekniske beskrivelser av det de skal ha bygd eller rehabilitert.

6.4.2 Håndbok R763, Prosesskode2

Noen av viktigste prosessene i Prosesskode 2 er beskrevet i Hovedprosess 8, underprosess 88. Her er en liten oversikt over disse prosessene, rutiner, metoder, og krav i prosesskode 2. [50]

Hovedprosess 8, underprosess 88.

88.1 Inspeksjon

Omfatter planlegging og gjennomføring av inspeksjon av bruer og ferjekaier inklusive oppmålinger, materialundersøkelser, avlesing av instrumentering, registreringer, rapportering etc.

88.14 Enkel inspeksjon

Omfatter enkel inspeksjon av bruer. Utføres som beskrevet for enkel inspeksjon i håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer og den spesielle beskrivelsen.

88.15 Hoved inspeksjon

Omfatter hoved inspeksjon av bruer. Utføres som beskrevet for hoved inspeksjon i håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer og den spesielle beskrivelsen.

88.16 Spesialinspeksjon

Omfatter spesialinspeksjon av bruer. Utføres som beskrevet for spesialinspeksjon i håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer og den spesielle beskrivelsen. Inspeksjonen skal rapporteres i BRUTUS.

88.17 Oppmåling/materialundersøkelse

Omfatter oppmålinger og materialundersøkelser inklusiv rapportering. Utføres i henhold til beskrivelse i håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer, håndbok R211 Feltundersøkelser og den spesielle beskrivelsen. Den utførende skal ha god kjennskap til den aktuelle metodes muligheter og begrensninger samt tolking av resultater.

88.172 Materialundersøkelse – betong

Omfatter prøveuttak, gjenstøping av borehull og opphugninger, analyse, rapportering etc. ved materialundersøkelser av betong og armert betong. Det vises til håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer og håndbok R211 Feltundersøkelser.

88.1721 Armeringslokalisering/betongoverdekning

Omfatter måling av betongoverdekning og lokalisering av armeringens beliggenhet med overdekningsmåler.

88.1722 Karbonatisering

Omfatter måling av karbonatiseringsdybde på betongkonstruksjoner.

88.1723 Kloridinnhold

Omfatter måling av kloridinnhold i herdet betong. Prøveomfang og dybdeintervaller skal være i henhold til Håndbok R211 Feltundersøkelser.

88.1724 Korrosjonsundersøkelse

Omfatter korrosjonsundersøkelse ved måling av armeringens elektrokjemiske potensial (EKP) og tilhørende motstandsverdier og vurdering/tolkning av resultater.

88.1725 Fasthetsbestemmelse

Omfatter kjerneuttak, fasthetsbestemmelse på utborede betongkjerner samt gjenstøping av hull.

88.1726 Strukturanalyse

Omfatter planslip og/eller tynnslip på utborede betongkjerner. Mengden måles som antall slip av hver type. Enhet: stk.

88.1727 Spennkabelkontroll

Omfatter spennkabelkontroll. For lokalisering av skader kan det benyttes ultralyd, røntgen eller endoskop. Metode er angitt i den spesielle beskrivelsen.

88.1728 Opphugning for korrosjonsbedømmelse

Omfatter opphugning, registrering av tilstand på frilagt armering samt gjenstøping av opphugning.

Krav til utførelse av reparasjon

Prosess 88.2 omfatter vedlikehold, beskyttelse og reparasjon av betong. Det henvises til NSEN1504-9+NA. Det henvises til NS-EN 1504 del 2 til 7. I tillegg vises til prosess 84, øvrige standarder referert til i denne prosessen og den spesielle beskrivelsen.

Entreprenøren oppgir produktvalg, og det dokumenteres at valgte materialer tilfredsstillende spesifikerte krav.

Utførelsen skal være i samsvar med NS-EN 1504-10+NA. I tillegg vises til prosess 84, øvrige standarder referert til i denne prosessen og den spesielle beskrivelsen. Utførelsesklasse skal være som angitt i den spesielle beskrivelsen. Arbeidene skal ikke utføres ved temperaturer lavere enn +5 °C.

Referansefelt

Ved oppstart av arbeidet etableres et referansefelt som omfatter kritiske eller gjentakende arbeidsoperasjoner. Hensikten med referansefeltet er å verifisere at arbeidene vil bli utført med tilfredsstillende håndverksmessig kvalitet. Kontrollere at arbeidsprosedyrer i kvalitetsplanen gir tilfredsstillende resultat eller må endres. Avdekke uforutsette forhold som medfører behov for nye arbeidsprosedyrer eller endring av arbeidsprosedyrer. Fungere som omforent referanse på tilfredsstillende utførelse.

Geometriske toleranser og overflatetoleranser

Geometriske toleranser og overflatetoleranser for de aktuelle konstruksjonsdeler skal være i henhold til toleranseklasser for nøyaktighetsklasse C, tabell 84-1 og tabell 84-2 i prosess 84.

Tabell 84-1

Toleranseklasse	1	2	3	4
Sammensatt byggtoleranse	± 20 mm	± 30 mm	± 50 mm	± 100 mm
Tverrsnitt, tillatt avvik for slakkarmerte konstruksjonsdeler	± 10 mm	± 15 mm	± 20 mm	± 30 mm
	± 10 %	± 10 %	± 10 %	± 10 %
Tverrsnitt, tillatt avvik for spennarmerte konstruksjonsdeler	± 10 mm	± 15 mm	± 20 mm	± 30 mm
	± 5 %	± 5 %	± 5 %	± 5 %
Loddavvik, maksimum	± 20 mm	± 30 mm	± 40 mm	± 50 mm
	± 3 ‰	± 4 ‰	± 6 ‰	± 8 ‰
Overflateavvik: Svanker og bulninger, grater, sprang og topper				
Målelengde, 1m	± 3 mm	± 5 mm	± 8mm	± 12 mm
Målelengde, 3m	± 5 mm	± 8 mm	± 12mm	± 20 mm
Maksimum avvik fra riktig høydeforskjell målt innen 20 m	± 10 mm	± 15 mm	± 20mm	± 30 mm

Figur 26 Tolleranseklasse for nøyaktighetsklasse C [50]

Toleranseklasse for de enkelte konstruksjonsdeler er gitt i tabell 84-2. Hvis ikke annet er angitt i den spesielle beskrivelsen, skal nøyaktighetsklasse B være gjeldende.

Tabell 84-2

Konstruksjonsdeler	Nøyaktighetsklasse		
	A	B	C
Fundamenter	3	4	4
Landkar	2	3	4
Søyler	1	2	3
Bjelker og tverrdragere	2	3	3
Vegger og bunnplate i kassetverrsnitt	1	2	3
Dekker, (underkant, sider og tverrsnitt)	2	2	3
Dekker, overflate	2	2	2
Karakteristiske linjer i byggverkets lengderetning (gesims, sidekanter, brystninger etc)	1	2	3

Figur 27 Nøyaktighetsklasse i forhold til konstruksjonsdeler [50]

Ved hulltaking, alle hull etter prøvetaking skal støpes og avrettes jevnt med tilgrensede betongoverflate som angitt i prosess 88.227. Målinger, observasjoner og registreringer dokumenteres. Prøving og kontroll skal være i samsvar med NS-EN 1504-10+NA.

Kapitel 7 Betongrehabilitering

Til tross at betong er et meget bestandig materiale er det behov for vedlikehold og reparasjonsarbeid. I denne delen av oppgaven skal jeg prøve å forklare noe om rehabilitering av betong og metoder som praktiseres mest. Disse metodene er: mekanisk reparasjon, overflatebehandling, og elektrokjemiskbeskyttelse. Elektrokjemiskbeskyttelsen er videre delt i elektrokjemisk re-alkalisering, elektrokjemisk kloriduttrekk, og katodisk beskyttelse.

I følge NS-EN1504 reparasjonsmaterialenes egenskaper må tilpasses den eksisterende betongkvaliteten. Samtlige materialer som benyttes i en reparasjon må være forenlige med hverandre. Dersom den mekaniske reparasjonen gjøres i forbindelse med re-alkalisering, kloriduttrekk eller ved installasjon av katodisk beskyttelse, må reparasjonsmaterialene ha egenskaper som ikke vesentlig reduserer eller forhindrer effekten av disse metodene.

I følge Prosesskode 2, entreprenøren bør utarbeide en plan for prøving og kontroll med tilhørende prosedyrer for arbeidene. Denne inngår i samlet kvalitetsplan for prosjektet og forelegges byggherren for uttalelse. Entreprenørens utførte kontroll dokumenteres i form av utfylt dagbok og kontrolljournal. Dagboken må minimum inneholde opplysninger om værforhold, dato og klokkeslett, temperatur, luftfuktighet, mannskap, utført arbeid, utført kontroll/henvisning til kontrolljournal, andre forhold av betydning for vurdering av arbeidet. Kontrolljournalen minimum inneholder kontrollørens navn, dato og klokkeslett, kontrollområde, beskrivelse av utført kontroll og prøvetaking, og måleresultat.

7.1 Mekaniske reparasjoner

Mekaniske betongreparasjoner er godt beskrevet i Prosesskode 2, hovedprosess 8, prosess 88.22, og omfatter fjerning av skadet og/eller infisert betong og gjenoppbygging med ny mørtel. Metoden omfatter følgende arbeidsprosesser: inspeksjon og merking av skader, referensefelt, fjerning av betong, armering, forbehandling, rengjøring, forskaling, forvanning, håndmørtling, sprøytemørtling, utstøping og herdetiltak.

Mekaniske betongreparasjoner er mest utbredt og er best egnet ved lokale skader. Ved større flateskader kan krav til fjerning av betong føre til at konstruksjonen skades mer enn den repareres. Ved større flateskader kan også krav til fjerning av betong føre til at metoden blir uøkonomisk og at estimerte kostnader kan føre til valg av alternative metoder eller til og med alternative strategier.

7.1.2 Infisert betong og fjerningsprosesser

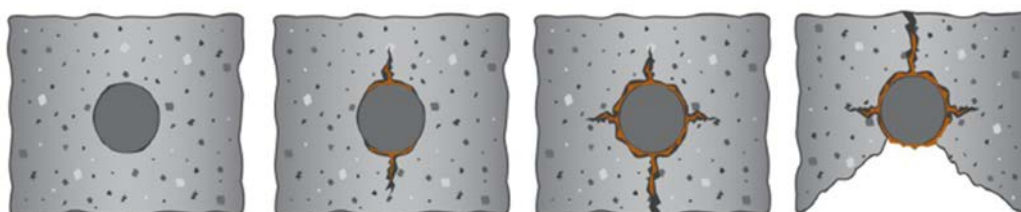
Generelt vedlikehold av betong går ut på å holde betongoverflaten mest mulig ren. En vanlig årsak til skader er at aggressive væsker blir liggende på overflaten og setter i gang angrep. [6] For å beskytte betong mot inntrenging av disse aggressive væsker, må betongoverflate beskyttes og infiserte betongen erstattes.

I følge Birger Søpler [1], nedbryting av betong foregår i to trinn, først et initieringstrinn og deretter aktiv nedbryting. De beskyttende egenskapene overvinnes i initieringsfasen, uten at konstruksjonen blir merkbart svekket og skaden er lite synlig. Ofte skjer den aktive

nedbrytingen raskt, og det er derfor viktig å oppdage så fort som mulig. Det er mye rimeligere å utføre vedlikehold og reparasjoner i initieringsfasen enn i den aktive nedbrytingsfasen.

Det viktigste oppgave i mekaniskreparasjoner av betong er å fjerne infisert betong. Vanligvis det skjer med betongmeisling. Bilde nede viser initieringsfasen og nedbryting av betong.

Figur 28 Initieringsfaser og nedbryting av betong



Figur 28 Initieringsfaser og nedbryting av betong. [19]

Bilder nedenfor viser et parkeringshus med stor korrosjonsskader, hvor klorider har gradvis beveget seg ved hjelp av vann, og gått gjennom helle konstruksjon.

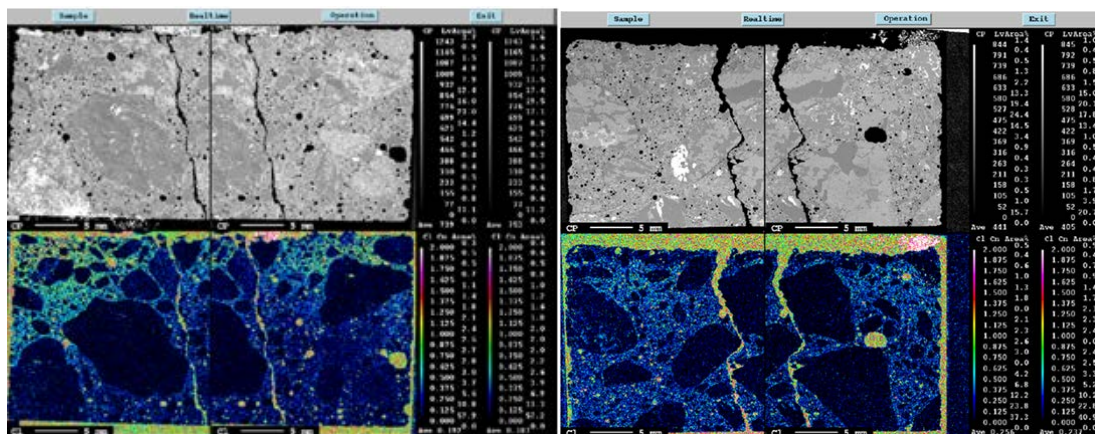


Figur 29 Klorider trukket ned gjennom hele konstruksjon [19]

En slik betongreparasjon er både tidskrevende og kostbar. Reparasjon i tillegg vil mest sannsynlig kreve en detaljert faglig vurdering og tilstandsanalyse.

Kloridinfisert betong kan i laboratoriet observeres under mikroskop. Her nede på bildet vises veldig tydelig infisert betong. Legg merke på hvor mye i dybde er betong infisert ved riss og sprekker.

Bilde nedenfor på venstre siden, viser mapping av klorider rundt riss på Solevågen fergekai i Sola kommune [19], og på høyre siden vises mapping av klorider rundt riss på Bakkasudet bru i Austevoll kommune, Hordaland. [9]



Figur 30 Mapping av klorider rundt riss på Solevågen fergekai i Sola kommune. [19] og mapping av klorider rundt riss på Bakkasudet bru i Austevoll kommune, Hordaland. [9]

7.1.3 Prosesser ved mekanisk reparasjon av armert betong

Mekanisk reparasjon vanligvis er delt i: kartlegging av skadet steder, meisling eller fjerning av skadet betong, rengjøring og korrosjonsbeskyttelse av armering, påføring av heftbru, mørtling, og ved behov overflatebehandling.

Skadet betongen først registreres og deretter fjernes slik at gjenværende betong og armering ikke skades. Det må ikke meisles direkte på armeringen, og det bør ikke fjernes mer betong enn nødvendig.

Bilde nede viser Forve bru over Orkla på Fv.65, ved tilstandsvurdering og bomsonekartlegging med en spett. Bilden er tatt den 03.10.2017



Figur 31 Bomsonekartlegging på Fv.65 Forve bru [Andreas Enger og Perica Benic]

Prosesser ved utførelse av en typiske mekanisk reparasjon kan være: betongrensing, betongsaging, betonghugging, meisling, boring, kjerneboring, gysing, armeringsbehandling inkludert armeringsbeskyttelse, vanning, liming, slemming, utfylling, sprøytebetong (våtsprøyting, tørrsprøyting), fiberbetong, inisjering, og overflatebehandling.

Etter fjerning av betong skal meislet betongoverflate være fri for bomsoner og løst tilslag, mikroriss, piper (små krater som vanskelig lar seg støpe ut), skygger under armering som hindrer fullstendig utstøping. Ved vannmeisling skal skygger under armeringen fjernes med håndholdt utstyr. Utmeislede sår må utformes slik at det oppnås god utstøping mot sårkanter og rundt fri lagt armering.

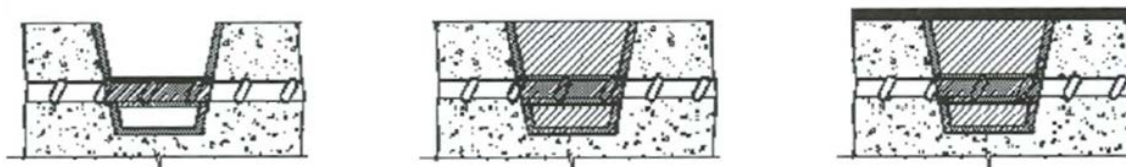
Figur 32 Illustrerer prosesser 1–3 ved mekanisk betongreparasjon. Etter gjennomført kartlegging av skadet, kan utføres meisling eller fjerning av skadet betong, rengjøring av hele området, og korrosjonsbeskyttelse kan legges på armering.



Figur 32 Prosesser 1–3 [34]

Figur 32 illustrerer prosesser 4–6. Etter lagt korrosjonsbesyttelse på armering, heftbru og mørtling, den siste reparasjonsfasen kan være herdetiltak for å beskytte reparasjon mens herdingsprosess pågår.

Overflatebehandling kan komme i tillegg om nødvendig, men dette er en tema for seg litt lengre i oppgaven.



Figur 33 Prosesser 4–6 [34]

Betongrensing

Rensing av betong vanligvis skjer mekanisk med kosting, slipping, pigging, eller ved vasking med vann eller høytrykk. Det brukes også en del kjemisk rensing med syreholdige stoffer, og termorens ved bruk av flamme og høytemperatur. Disse metodene brukes ikke ofte.

I flest tilfeller alle skadete eller infiserte områder av konstruksjon må meisles bort.

Det er viktig at ved meisling av bærende konstruksjonsdeler, man har god oversikt og kontroll på statikk.

Betongmeisling

Hugging og meisling av betong oftest skjer med elektrisk og pneumatisk (lufttrykk) utstyr, men også kan gjøres med hammer, spett og håndmeisel. Vannmeisling brukes ved meisling av større arealer og hvor det ønskes unngå skader på betong og armering i konstruksjonen. Kriterier for fjerning av betong er avhengig av skadeårsak og reparasjonsmetode. Skadeårsak og konsekvens ofte bestemmes ved konstruksjonsinspeksjoner. Inspeksjon vanligvis utføres som visuell inspeksjon supplert med kontroll av bom på betongoverflater. Meislingsomfang merkes på betongoverflaten i henhold til ved prosjektering bestemte kriterier for fjerning av betong.

Vannmeisling kan foretrekkes framfor mekaniskmeisling pga. dannelse av mikrosprekk i betong ved vanlig mekaniskmeisling.

Bilde nede viser oppmerket meislingsområdet på FV65. Forve brua. Meislingsområdet er merket med orangespray.



Figur 34 Oppmerket meislingsområdet på Fv.65 Forve bru. 04.10.2017

I følge Prosesskode 2, for å ivareta konstruksjonens sikkerhet bør prosedyrer for reparasjon av store sammenhengende skader være angitt i en beskrivelse. Begrensninger gitt i disse prosedyrene gjelder foran andre meislingskriterier. Dersom det ved fjerning av betong avdekkes skader som kan ha betydning for bæreevnen, skal byggherren varsles umiddelbart. Videre fjerning av betong skal ikke utføres før forholdet er vurdert nærmere.

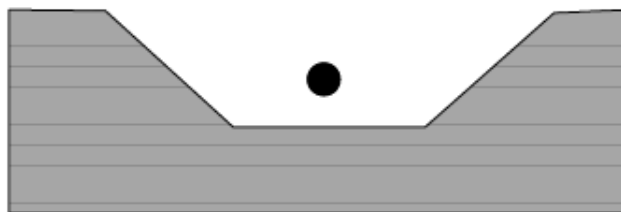
Etter fjerning av infisert betong skal meislet betongoverflate være fri for: «bomsoner» og løst tilslag, mikroriss, skygger under armering som hindrer fullstendig utstøping. Ved vannmeisling skal skygger under armeringen fjernes med håndholdt utstyr vanligvis vannhøytrykkspiller.

Figur 35 illustrerer ferdigmeislet og rent området rundt armering. Det må være nok plass til ny betong under armering.



Figur 35 ferdig meislet området rundt armering [2]

I følge fagbok TKT4225 Concrete Technology 2 ved NTNU, [48] ved bruk av sprøytemørtling, anbefales at meislendesårkanter danner en vinkel på ca. 45 grader.



Figur 36 Ved bruk av sprøytemørtel anbefales at meislendeskråninger danne en vinkel på ca. 45 grader. [48]

Mekanisk meisling og konsekvens

Mekaniskmeisling er mest brukt meislingsmetode. Metoden er relativt billig, krever ikke spesiell kompetanse, og det finnes mye billig og lett tilgjengelig utstyr på marked. Metoden er noe primitivt men fungerer bra i de fleste tilfeller.

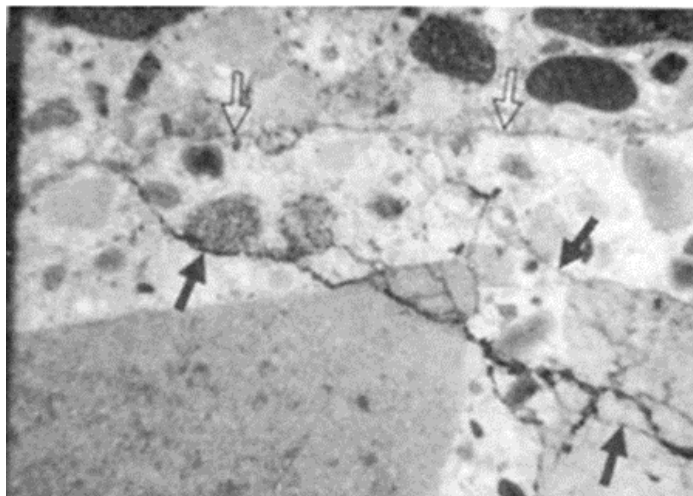
Bilde nedenfor viser meisling med meiselmaskin med lufttrykk som er mye brukt på større byggeplasser.



Figur 37 betongmeisling med pneumatiskmeiselmaskin. [47]

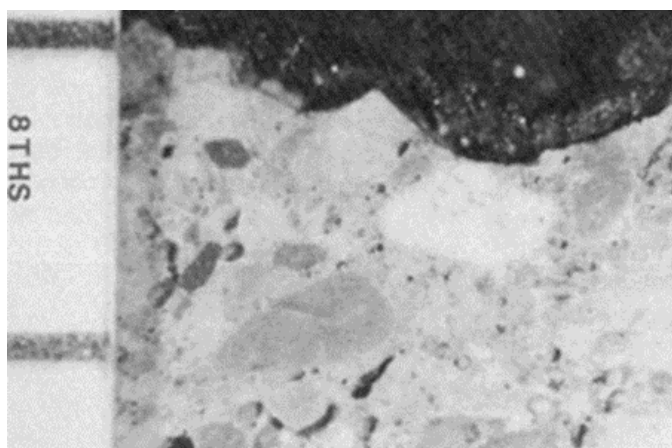
Konsekvens av mekanisk meisling er mikrosprekker i betong. Ved harde slag dannes tydelige sprekker i betong og konstruksjon svekkes.

Figur 38 viser bilde tatt under mikroskop og viser mikrosprekker i betong etter mekanisk meisling.



Figur 38 Mikrosprekker i betong etter mekanisk meisling. [48]

Ved vannmeisling unngås store slag og unngås sprekker i betong. Det er tydelig stor fordel å bruke vannmeisling framfor mekanisk meisling, men det er ikke alltid gjennomførbart og ofte økonomisk uforsvarlig. Figur 39 viser bilde tatt under mikroskop etter vannmeisling og er uten mikrosprekker.



Figur 39 Betong uten sprekker etter vannmeisling [48]

Vannmeisling

Vannmeisling er effektiv meislingsmetode som egner seg godt på store overflater som for eksempel, på brudekker. Vannrobot må kalibreres før bruk, dvs. vanntrykk må tilpasses betongstyrke og vannrobotshastighet.

Hvis vannmeislingsrobot er ikke riktig kalibrert, pga. upassende vanntrykk, kan lett meisles bort for lite eller for mye av betong. Ved dårlig og varierende kvalitet på gammel betong, kan resultat av vannmeisling være veldig ujevnt overflate.

Ved en selektiv vannmeisling, skal dette være angitt som en spesiellbeskrivelsen. Selektiv vannmeisling med vannmeislingsrobot utføres av firma som er godkjent i henhold til Vegvesenets godkjenningssystem for vannmeisling og med vannmeislingsutstyr som er

godkjent for selektiv vannmeisling. Vanligvis ved vannmeisling brukes mye vann og det må tas høyde for god bortledning av vann.



Figur 40 Vannmeisling med robot på Ladedalenbru i Trondheim 2015

Sluttresultat av vannmeisling med robot på Ladedalen bru i 2015, var ikke veldig god. Overflaten var ujevnt pga. forskjellig betongkvalitet. Det var vanskelig å kalibrere vannmeislingsrobot og tilpasse vanntrykk til flere forskjellige betongtyper som tilbake i tid ble brukt ved reparasjoner på den gamle brua. Konsekvens av dette var mye håndmeisling i etterkant.

Figur 41 viser ujevnt betongoverflate etter vannmeisling pga. forskjellig betongkvalitet og kalibreringsproblemer på Ladedalen bru i 2015. Etter vannmeisling var det relativt stor behov for håndmeisling i tillegg. Dette forårsaket en del forsinkelser og selvsagt økonomiske kostnader, både for entreprenør og Statens vegvesen.



Figur 41 Ujevnt overflate etter vannmeisling på Ladedalen bru i 2015

Ved vannmeisling brukes det mye av vann og samles slam som må fjernes. Figur 42 viser slamsamling ved vannmeisling på Ladedalen bru i Trondheim i 2015.



Figur 42 Slamsamling ved vannmeisling på Ladedalen bru i 2015

Flater som er vannmeislet må umiddelbart etter avsluttet meisling rengjøres med høytrykksspyling, slik at uhydratisert sement og slam på overflaten ikke herder og forårsaker redusert heft. Rengjøring utføres ovenfra og nedover på vertikale flater.

Bilde nedenfor viser bilde med ferdig vannmeislet, håndmeislet, rengjort og armert, arbeidsområdet på Ladedalen bru i Trondheim 2015.



Figur 43 Ferdig vannmeislet, deretter håndmeislet, rengjort og armert på Ladedalen bru i Trondheim i 2015

Ved meislingsarbeid på store konstruksjoner, kan det brukes mer avansert eller motorisert utstyr som for eksempel gravemaskiner med påmontert utstyr for meislingsarbeid.

Rengjøring

Rengjøring kan være avgjørende for å oppnå et godt resultat ved en betongrehabilitering. Utstyr må være riktig dimensjonert i forhold til arbeid som skal utføres. Ferdig forbehandlet flate må gi tilstrekkelig heft for videre bearbeiding. Retningslinjer er gitt i NS-EN 1504 del 9 og 10.

Etter fjerning av betong bør sårflater rengjøres for støv, sementslam, osv. Flater der betongen er fjernet skal sandblåses og rengjøres med trykkluft.

Flater som er vannmeislet skal umiddelbart etter avsluttet meisling rengjøres med høytrykksspyling, slik at uhydratisert sement og slam på overflaten ikke herder og forårsaker redusert heft.

Armering ved reparasjon

I følge NS-EN1504 og Prosesskode 2 [50], armering skal være i henhold til prosess 84.3 med teknisk klasse B500NC. Rustfri armering skal være kamstål i rustfritt stål i henhold til NS-EN 10088, nummer 1.4401 eller tilsvarende, med mål og mekaniske egenskaper i henhold til NS 3576-5. Noe av armeringsmaterialer er beskrevet i oppgavens kapitel 3 del.

Korrosjonsbeskyttelse

Materialets korrosjonsbeskyttende evne dokumenteres i henhold til NSEN 1504-7. Korrosjonsbeskyttelse på armering skal være sementbasert.



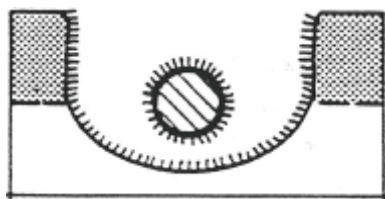
Figur 44 Sementbasert korrosjonsbeskyttelse kan legges opp på armering [2]

Heftbru

Der konstruktiv liming med heftbru er påkrevd for å gi fullt konstruktivt samvirke mellom reparasjon og eksisterende betong. Heftbroen skal tilfredsstillere minimumskravene til obligatorisk egenskapstesting i NS-EN 1504-4

For ikke bærende reparasjoner som gjenoppbygges med håndmørtling, benyttes sementbasert heftbru. Kravet til heftfasthet er da det samme som for reparasjonsmørtelen for angitt mørtelklasse, når heftbroen inngår som en del av et reparasjonssystem.

Figur illustrerer områder med påført heftbru før kommende mørtling.



Figur 45 Heftbru [2]

Mørtler for reparasjoner

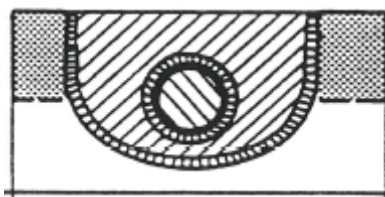
Betong for utstøping skal være i henhold til prosess 84.4 med betongkvalitet B45 SV Standard. Hvis ikke annet er angitt, det benyttes sementbaserte reparasjonsmørtler som tilfredsstill minimumskravene for obligatorisk egenskapstesting i NS-EN 1504-3 for mørtelklasse R4. Mørtelen skal i tillegg tilfredsstill materialkrav gitt i tabell 88.22-1.

Tabell 88.22-1: Krav til egenskaper for mørtler, utover minimumskrav i NS-EN 1504-3

Egenskap	Metode	Krav
E-modul	NS-EN 13412	I henhold til NS-EN 1504-3 for angitt mørtelklasse
Termisk kompatibilitet 1. Fryse/tine	NS-EN 13687-1	I henhold til NS-EN 1504-3 for angitt mørtelklasse
Kapillærabsorpsjon	NS-EN 13057	$\leq 0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-0,5}$
Spesifikk elektrisk motstand	Håndbok R210 ¹⁾	50 % < opprinnelig betong < 200 % Kravet gjelder kun ved mekanisk reparasjon forut for elektrokjemiske behandling

Figur 46 Krav til egenskaper for mørtler [50]

Illustrasjon nede viser ferdig utfylling med reparasjonsmørtel. Illustrasjon viser meislet og rengjort området, påført armeringsbeskyttelse, påført heftbru og utfylling av reparasjonsmørtel.



Figur 47 Ferdig mørtlet rundt armering [2]

Mørtler for innstøping/sprøyting av anoder

Mørtler som skal benyttes til innstøping/sprøyting av nett og båndanoder, skal tilfredsstill krav i NS-EN 12696.

Betongboring

Boring i betong skjer med elektrisk eller pneumatisk hammerbormaskin. Boring brukes ofte for armerings forsterkning. Ulempe med boring er at ved boring kan treffes eksisterende armering i konstruksjon, og med det hindre videre produksjon. Man må begynne å bore på et annet sted. Hvis konstruksjon er tettarmert, slike situasjoner kan oppstå ofte. Man risikerer å få mange borehull uten funksjon. Konsekvenser er både økonomiske, funksjonelle, estetiske og frem driftsmessige. Boring utføres i henhold til prosess 88.226. Det skal påses at betongen er av god kvalitet, uten riss, delamineringer, forurensinger med mere. Hulldiameter skal velges i forhold til respektive diameter på armeringsjern som skal støpes fast og lengde på hull som skal utstøpes. Umiddelbart etter boring, skal alt borstøvet i hullet fjernes med oljefri trykkluft.

Bilder nede er tatt i 2013 på Brobakk bru i Holtålen kommune Sør-Trøndelag, og viser boring i betong med pneumatisk bormaskin.



Figur 48 Boring 1,7 meter ned i betong for å gyse armering i brufundamenter. Perica Benic

Ved rehabilitering av betongkonstruksjoner er det viktig å vite nøyaktig hvor i betongen ligger armering. Gamle arbeidstegninger kan være av stor hjelp, og kan brukes ved eventuelt oppmerking av armertområdet eller uarmertområdet, og på den måten unngå å treffe armering ved boring.



Figur 49 betongboring etter bestemt mønstre ved Bruksfore kraftstasjon [31]

Kjerneboring

Som god alternativ for boring kan brukes kjerneboring. Kjerneboring er mer effektiv enn vanlig boring, fordi gammel konstruksjonsarmering er ikke hindring for kjerneboring. Når kjerneborkrone treffer gammel armering, kjerneborkrone borer gjennom armeringen. Operasjon blir noe saktere, men stopper ikke produksjon som skjer ved boring med vanlig bor.

Ulempe med kjerneboring er mer kostbart utstyr, behov for vann og at gammel armering kan bli ødelagt og med det konstruksjonskapasitet svekket. I verste fall konstruksjon kan kollapse.



Figur 50 Kjerneboring med håndholdt utstyr på Ladedalenbrua i Trondheim 2015, Perica Benic

Figur 51 er et bilde som viser Ladedalen bru i Trondheim, hvor ved kjerneboring ble kappet konstruksjonsarmering av grovere dimensjon. Konsekvens var en svekket konstruksjon, og kappet armeringen måtte erstattes med ny armering for å beholde konstruksjon-

enlastkapasitet. Videre konsekvens var at prosjekteringskostnader, materialkostnader og forsinkelser i produksjon bidratt negativt på prosjektøkonomi.



Figur 51 Kappet grov armering ved kjerneboring på Ladedalen bru. Perica Benic



Figur 52 Vinklet kjerneboring [31]

Betongsaging

Betongsaging blir brukt til å lage større åpninger i betong. Det finnes en rekke betongsager med forskjellige størrelser. Noen sager kan skjære betong opptil 0,5 meter. Selve sagbladet består av segmenter med innstøpte diamanter og spor for vann mellom segmentene. Hastigheten på bladet kan være 30–50 m/s. [6]

Figur 53 viser betongsaging med bensindrevet håndbetongsag. Typisk for betongsaging er mye støy og støv. Det må holdes stor fokus på verneutstyr og arbeidssikkerhet.



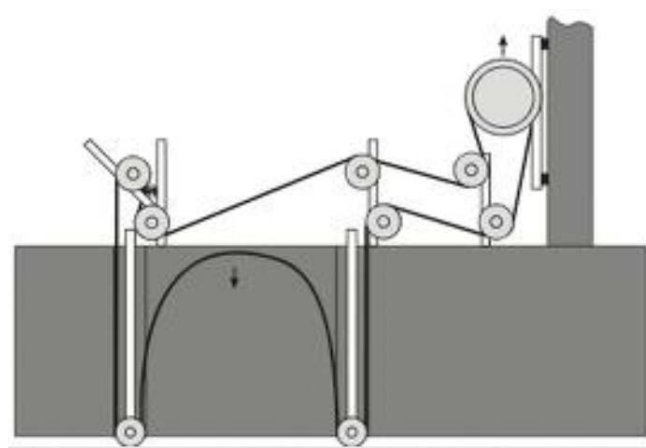
Figur 53 Bensindrevet håndsag [31]

Figur 54 viser betongaging av vegger med innfestet føring skinne eller stativ. Betong sag må ha vanntilførselen for nedkjøling av sagblad.



Figur 54 betongsaging vegger [31]

Wiresaging brukes til å etablere åpninger i konstruksjoner med stor tykkelse, åpninger nedover, bortover og oppover uten tilgang fra andre siden.



Figur 55 Prinsipp Wiresag med diamantwiren [31]

Wiresaging kan brukes hvor man kan slå wiren rundt konstruksjon, og wiren strammes inn, som illustrert på bilden nede. Diamant Wiren bli stammet inn etterhvert som den sager seg innover.



Figur 56 Saging av massive konstruksjoner med wiresag [31]

Armering og armeringerstattning

Armering skal være utført i henhold til Prosesskode 2 og prosess 84.3, med teknisk klasse B500NC i samsvar med NS 3576-3. Frilagt armering rengjøres ved sandblåsing hvor rust og fremmedpartikler fjernes. Frilagt og rengjort armering som kan ha høyt saltinnhold på armeringsoverflaten rengjøres med høytrykksspyling så nærme tidspunkt for oppmørtling, sprøytemørtling eller utstøping som mulig. Dersom det etter rengjøring av armeringen avdekkes tverrsnittreduksjoner på armeringen, skal byggherren kontaktes for avklaring av hvilke tiltak som skal settes i verk.[50]

Dersom korrosjonsbeskyttelse påføres på rengjort armering, skal den dekke hele overflaten, også på baksiden av armeringen. Korrosjonsbeskyttelsen påføres samme dag som rengjøringen har funnet sted. I kloridutsatte miljøer korrosjonsbeskyttelse påføres umiddelbart etter rengjøring. Ved utskifting av skadet armering skal ny armering legges inn med samme diameter, form og føring som den opprinnelige.

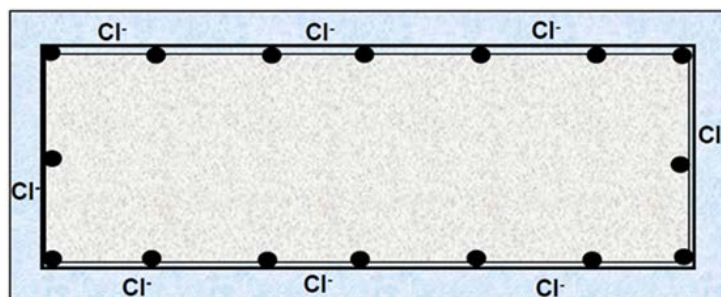
Figur 57 vise sterkt korrodert armering og lite overdekning. Skadet armering eller redusert armering må erstattes eller forsterkes med ny armering.



Figur 57 Redusert armerings tverrsnitt pga. armeringskorrosjon [36] Korrodert armering og veldig lite overdekning [34]

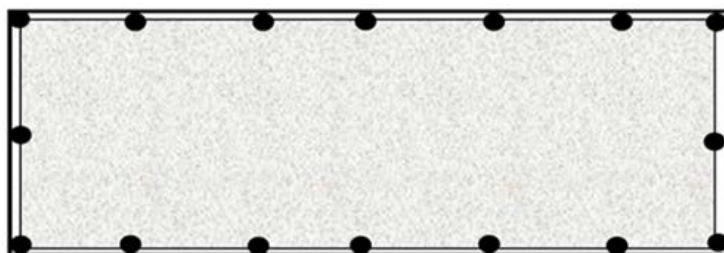
Illustrasjoner 58,59 og 60, viser tre typiske reparasjonsprosesser ved kloridinfisert eller generelt infisert betong.

Kloridinfisert betong registreres og fjernes ved meisling.



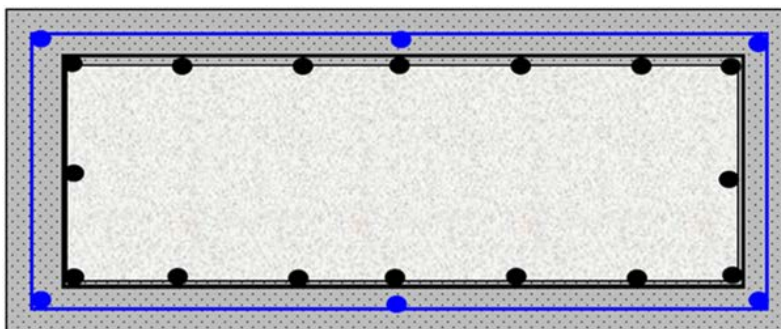
Figur 58 Kloridinfisert betong som må utmeisles [5]

Konstruksjon rengjøres og gøres klar til armering.



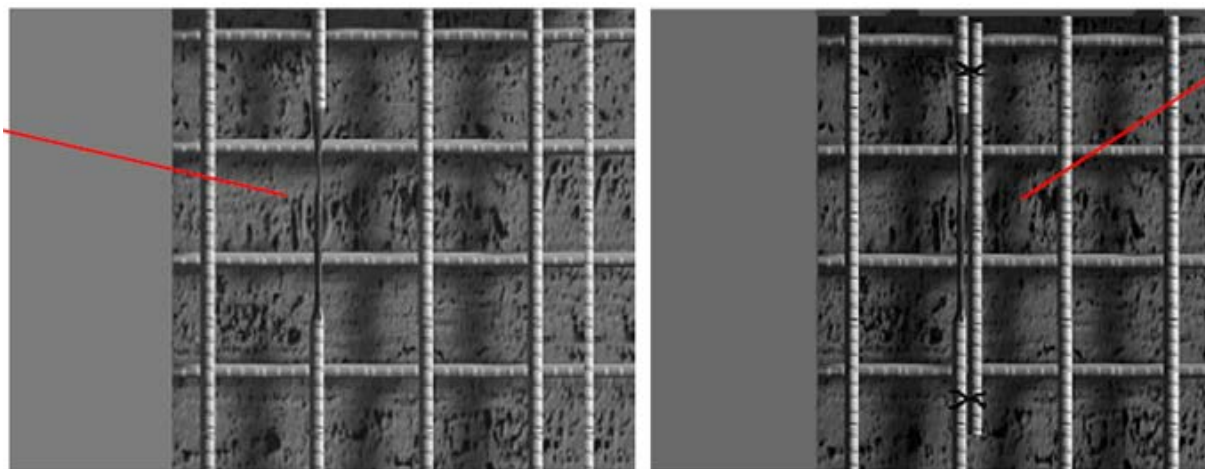
Figur 59 ferdig utmeislet kloridinfisert betong, men sveket konstruksjon [5]

Etter armeringsarbeid konstruksjon forskales i henhold til Prosesskode 2, prosess 84.2 og gjøres klar til betongstøping. Forskalingsprosesser vises senere i oppgaven.



Figur 60 Ny armering påmonteres og ny betong støpes. Konstruksjon forsterkes [5]

Figur 61 illustrerer erstatning av skadet armering. Skadet eller sterkt redusert armering må erstattes med ny armering med passende forankringslengde (omfar) som hvis ikke noe annet er angitt er ofre ikke mindre enn $50 \times \varnothing$ mm på armering.



Figur 61 Erstatning eller forsterkning av redusert armering [34]

Armering som skal rettes eller ombøyes skal ikke ha lavere temperatur enn $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Armering med diameter 16 mm eller større skal ikke rettes eller ombøyes. [50]

Korrosjonsbeskyttelse

Korrosjonsbeskyttelse på armering skal være sementbasert. Korrosjonsbeskyttende evne av sementbasert mørtel for behandling av armering skal være dokumentert i henhold til NSEN 1504-7.

Figur 62 viser bilde med påføring av sementbasert korrosjonsbeskyttelse på armering



Figur 62 Påføring av korrosjonsbeskyttelse på armering [36]

Forskaling, prosess 84.2

Forskaling skal ifølge Prosesskode 2 [50], utføres slik at avforskalt flater får en overflatestruktur og farge tilsvarende omkringliggende betongoverflater. Forskaling skal slutte tett inntil eksisterende betong i overganger og være så stiv at det blir en jevn overgang i overflaten mellom reparasjon og eksisterende betong uten skjemmende sprang. For øvrige krav til forskaling, henvises til prosess 84.2.

Noen av forskalingstyper som er ofte brukt og beskrevet i Prosesskode 2, prosess 84.2. [50]

84.21 Plan forskaling over vann

84.211 Plan forskaling, valgfri forskalingshud (ikke synlige flater)

84.212 Plan forskaling med lemmer (synlige flater)

84.213 Plan forskaling med bord (synlige flater)

84.214 Plan, profilert treforskaling

84.215 Plan forskaling med mønstrede matriser

84.22 Ensidig veggforskaling over vann

84.221 Ensidig veggforskaling, valgfri forskalingshud (ikke synlige flater)

84.222 Ensidig veggforskaling med lemmer (synlige flater)

84.223 Ensidig veggforskaling med bord (synlige flater)

84.224 Ensidig veggforskaling, profilert treforskaling

84.224 Ensidig veggforskaling, profilert treforskaling

84.225 Ensidig veggforskaling med mønstrede matriser

84.231 Enkeltkrum forskaling, valgfri forskalingshud (ikke synlige flater)

84.232 Enkeltkrum forskaling med lemmer (synlige flater)

84.233 Enkeltkrum forskaling med bord (synlige flater)

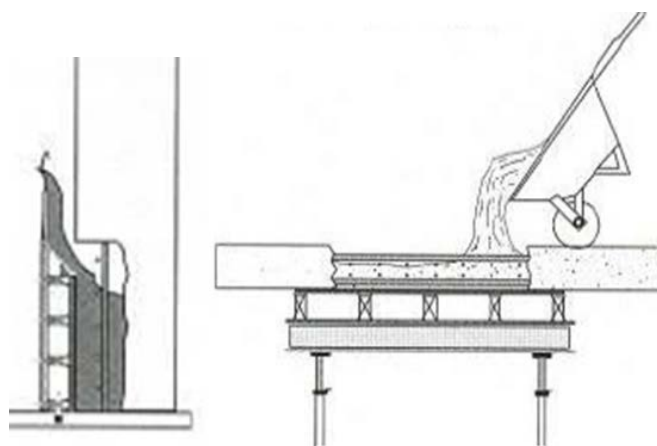
84.234 Enkeltkrum, profilert treforskaling

84.235 Enkeltkrum forskaling med mønstrede matriser

84.24 Spesialforskaling. Det vises til den spesielle beskrivelsen.

- 84.241 Dobbeltkrum forskaling
- 84.242 Gjenstående forskaling. Omfatter materialer og arbeider forbundet med utførelse
- 84.245 Forskaling med prefabrikkerte rør
- 84.246 Forskaling med prefabrikkerte betonelementer
- 84.26 Utførelsesdetaljer
- 84.261 Tilpasning av forskaling mot berg over vann
- 84.262 Tilpasning av forskaling mot berg under vann
- 84.263 Forskalte støpeskjøter med gjennomgående armering
- 84.265 Utsparinger
- 84.2651 Utsparing for spennkabler
- 84.2652 Utsparing for lagerbolter
- 84.2653 Utsparing for sluk
- 84.2654 Utsparing for rør under sluk
- 84.2655 Utsparing for overvannsledning
- 84.27 Forskaling under vann. Forskalingen regnes som utført under vann dersom den befinner seg under vannspeilet og byggegropen ikke er forutsatt tørrlagt.

Figur 63 viser illustrasjon av to mest brukte forskalingsmetoder, ensidig veggforskaling til og forskaling til dekkereparasjon.



Figur 63 Ensidigforskaling [37] og dekkforskaling [37]

Bildet figur 64 viser et mer komplisert forskalingssystem som brukes ved tunellstøping, en såkalt ovaltunellforskaling. Bildet er tatt på E-6 i Melhus kommune ved Trondheim i Sør-Trøndelag den 13.10.2003.



Figur 64 Tunneforsikaling "Doka" , prosjekt Brubakk løsmassetunell på E6 i Melhus [46]

Bilde på figur 65 er også tatt på prosjekt Brubakk løsmassetunnel på E-6 i Melhus kommune, men denne gangen bildet viser ytre forsikaling eller bedre kjent som «dobblinga». Forsikaling er levert av forsiklingsfirma Doka. www.doka.com



Figur 65 Tunellforsikaling "dobblinga" E6 Melhus [46]

Forvanning og heftbru

Før påføring av sementbasert heftbru, skal sårflatene forvannes godt slik at betongunderlaget er vannmettet, men overflatetørt og svakt sugende.

Heftbrua bør koster godt inn i rengjort underlag slik at hele sårflaten dekkes, og heftbrua skal også dekke sårflater bak armeringen. Heftbrua påføres umiddelbart før påføring av mørtel eller utstøping av betong (vått i vått).

Der konstruktiv liming med heftbrua er påkrevd for å gi fullt konstruktivt samvirke mellom reparasjon og eksisterende betong, skal heftbroen tilfredsstillende minimumskravene til obligatorisk egenskapstesting i NS-EN 1504-4. For ikke bærende reparasjoner som gjenoppbygges med håndmørtling, benyttes sementbasert heftbrua. Kravet til heftfasthet er da det samme som for reparasjonsmørtelen for angitt mørtelklasse, når heftbroen inngår som en del av et reparasjonssystem.

Mørtling og utstøping

Lufttemperatur under oppmørtling/sprøytemørtling skal være mellom +5 og +25°C. Ved behov skal tiltak iverksettes for å ivareta temperaturkravene.

Dersom skaden er av en slik karakter eller størrelse at det ikke er fornuftig med håndmørtling, bør man vurdere tradisjonell forskaling og støping. Når skaden er ferdig utstøpt er det viktig å hindre uttørking i støpemørtelen. Etter at forskalingen er fjernet bør behovet for pore-sparkling og overflatebehandling vurderes.



Figur 66 Håndmørtling til venstre og sprøytemørtling til høyre [36]

Håndmørtling

Mørtelen legges vått i vått med heftbrua. Dypere sår bygges om nødvendig opp i to eller flere lag. Mørtelen pakkes slik at fullstendig oppfylling rundt armeringen oppnås. Reparasjonsmørtelen må behandles/etterbehandles for å hindre for rask uttørking.

Reparasjonsmørtelen bygges om nødvendig opp i flere sjikt, der sjikttykkelsen ikke overstiger 30–35 mm. Reparasjonsmørtelen må behandles/etterbehandles for å hindre for rask

uttørking. Ved valg av reparasjonsmørtel er det viktig at denne har egenskaper som står i forhold til underliggende betong.

Mørtler for reparasjoner

Hvis ikke annet er angitt, det benyttes sementbaserte reparasjonsmørtler som tilfredsstill minimumskravene for obligatorisk egenskapstesting i NS-EN 1504-3 for mørtelklasse R4. Mørtelen skal i tillegg tilfredsstill materialkrav gitt i tabell 88.22-1.

Tabell 88.22-1: Krav til egenskaper for mørtler, utover minimumskrav i NS-EN 1504-3

Egenskap	Metode	Krav
E-modul	NS-EN 13412	I henhold til NS-EN 1504-3 for angitt mørtelklasse
Termisk kompatibilitet 1. Fryse/tine	NS-EN 13687-1	I henhold til NS-EN 1504-3 for angitt mørtelklasse
Kapillærabsorpsjon	NS-EN 13057	$\leq 0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$
Spesifikk elektrisk motstand	Håndbok R210 ^{*)}	50 % < opprinnelig betong < 200 % Kravet gjelder kun ved mekanisk reparasjon forut for elektrokjemiske behandling

Figur 67 Krav til egenskaper for mørtler, NS-EN 1504-3, tabell 88.22-1. [50]

Ved større skader, mørtling ofte må gjøres i flere etapper for å sikre god heft og kontrollert herding. Hvis ikke annet er angitt, skal det benyttes sementbaserte reparasjonsmørtler.

Ved arbeid i høyde må brukes arbeidsstillaser og at hensyn til arbeidssikkerhet.



Figur 68 Resultat av håndmørtling

Etter utført mørtling, kan skje at det blir en forskjell i farge mellom gamle betongen og den nye. Det er alltid ønskelig å ha mest mulig lik farge på den gamle betongen og den nye mørtelen, selv om det er ikke alltid mulig å treffe.

Sprøytemørtling

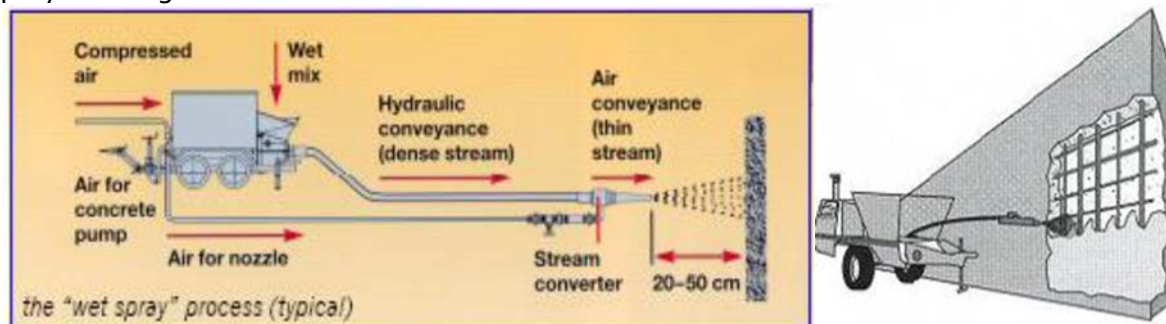
Før sprøytearbeidene starter skal utstyr og tilrigging samt hver enkelt sprøyteoperatør være godkjent. Sprøytekapasiteten må kunne reguleres ned til så lav kapasitet at god omstøpning

av armering sikres. Sprøytemørtling skal ikke foretas i sterk vind på grunn av faren for separering. Ved oppstart av sprøyting skal det alltid sprøytes mot lem, kasse eller lignende, inntil det visuelt kan kontrolleres at vandoseringen er riktig. På vertikale eller skrå flater starter sprøytingen nederst og fortsetter oppover.

Mørtler som skal benyttes til innstøping/sprøyting av nett og båndanoder, skal tilfredsstillende krav i NS-EN 12696.

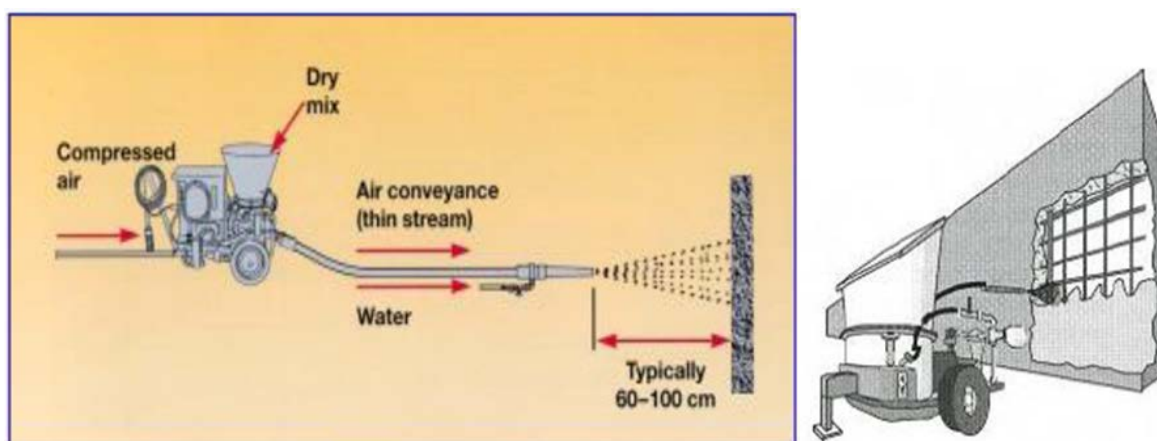
Det er to metoder som brukes ved sprøytebetong, og disse er våtmetode og tørrmetode.

Sprøytebetong våtmetode



Figur 69 Sprøytebetong våtmetode [34]

Sprøytebetong tørrmetode



Figur 70 Sprøytebetong tørrmetode [34]

Tørrsprøyting er en meget rasjonell metode for reparasjon av større sår. Metoden egner seg også utmerket til store konstruksjoner med flere skader der kravene til egenskaper er store, for eksempel innen kai-, dam- og brureparasjoner. Tørrsprøyting er effektiv fordi den ved korrekt utførelse sikrer fullstendig utfylling, god heft, høy fasthet, og lav støvutvikling. Tørrsprøyting krever ikke påføring av heftbro, men armeringen bør likevel behandles hvis det går flere dager mellom frigjøring/rengjøring og oppsprøyting. Sprøytede flater kan pusses på lik linje med annen reparasjonsmørtel. Ferdig behandlede flater påføres umiddelbart en membranherder [36]



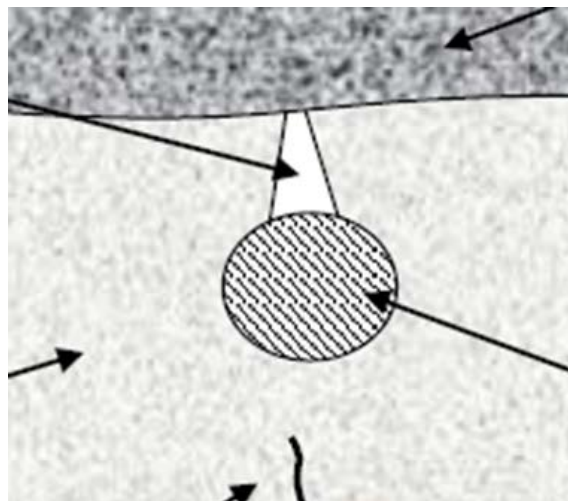
Figur 71 Betongsprøyting og resultat [36]

Utstyr for sprøytebetong både våt og tørrmetode kan variere i størrelse avhengig av oppgaven.



Figur 72 Selvgående utstyr for sprøytebetong [36]

En av svakheter ved bruk av sprøytebetong er at av og til betong kommer ikke helt bak armering og blir steder med tomrom uten betong.



Figur 73 Mangler betong bak armering

Herdetiltak

Herdetiltak skal iverksettes umiddelbart etter bearbeiding av reparert flate eller avforskaling, for å hindre uttørking og utvikling av riss. Dette kan utføres ved påføring av herdemembran, ettervanning med ferskvann (dusjing) og tildekking med plastfolie.

Herdetiltak iverksettes også mot skader på grunn av værforhold som ugunstig høy eller lav lufttemperatur, frost, nedbør, solstråling, osv. Herdemembranen påføres jevnt i slik mengde at det oppnås full dekning, men herdemembran skal ikke påføres støpeskjøter eller armering.

I følge Prosesskode 2 [50], prosess 84.462, Herdetiltak for frie overflater med varmeisolasjon, herdemembran skal være dokumentert å fungere også om den utsettes for vind. Plastfolie og isolasjonsmatter bør ha 2 meters bredde, og må være tilstrekkelig robuste til å tåle den trafikk og de påkjenninger som måtte forekomme uten å skades. Presenninger skal kunne festes eller bindes fast, for eksempel utstyrt med maljer, slik at den hindrer beskyttelsen i å blåse vekk. Presenninger skal være tette og uskadde.

Ved lave temperaturer er varmeisolasjon nødvendig i herdeperioden. Isolasjonen som etafoam eller isolasjonsmatter, skal dekke alle overflater av konstruksjonsdelen, både forskalte og uforskalte. Også arealer mellom utstikkende skjøtejern skal isoleres.

7.2.5 Kontroll for mekaniske reparasjoner av betong

Kontrollsystem for mekaniske reparasjoner av betong er beskrevet i NS-EN 1504 og Prosesskode 2. Det er et system sammensatt av tekst med prosessbeskrivelser, tabeller med forskjellige krav, og tegninger.

- Prøving og kontroll av underlaget og armeringen utføres i henhold til tabell 88.22-2

Type prøving/kontroll – kontrollmetode	Kontrollomfang	Krav
Utforming av meislede flater - utføres ved visuell kontroll.	Meislede flater skal kontrolleres etter rengjøring.	Utforming av meislede områder skal tilfredsstillende spesifiserte krav. Omfang av piper i underlaget etter vannmeisling skal være mindre enn 5 % jevnt fordelt over meislet overflate.
Korrosjonsgrad av eksisterende armering – utføres ved visuell inspeksjon og måling av tverrsnittsreduksjoner på armering.	Frilagt armering kontrolleres visuelt. Armeringstverrsnittet måles stikkprøvevis.	I henhold til spesifiserte krav.
Delaminering - utføres ved bomkontroll med banking med hammer e.l.	Hele betongoverflaten skal kontrolleres ved systematiske stikkprøver i henhold til <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Det skal ikke være noen form for bom/delaminering i underlaget.
Renhet i underlaget - utføres ved visuell inspeksjon eller prøving med klebebånd.	Flater som skal påføres reparasjonsmaterialer, skal kontrolleres visuelt. I tillegg utføres stikkprøver med klebebåndstesten som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Det skal ikke være noen form for urenheter i underlaget. Klebebåndstesten skal kun vise ubetydelig støv på klebebåndet.
Ruhet - utføres ved visuell inspeksjon, sandprøving eller profilmåler.	Flater som skal påføres reparasjonsmaterialer, skal kontrolleres visuelt. Annen prøving utføres som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Ruheten skal være i henhold til spesifiserte krav.
Underlagets strekkfasthet i overflaten – utføres ved avtrekksprøving i henhold til NS-EN 1542.	Prøveomfang som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> . En prøveserie består av 3 enkeltprøver.	Strekkfastheten i betongunderlaget skal være i henhold til spesifiserte krav.

Figur 74 Prøving og kontroll av underlaget og armering. Tabell 88.22-2. [50]

- Prøving og kontroll før og under påføring av reparasjonsprodukter utføres i henhold til tabell 88.22-3. [NS-EN 1504]

Type prøving/kontroll - kontrollmetode	Kontrollomfang	Krav
Vibrasjon - ved bruk av akselerometer.	Prøveomfang som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Vibrasjonen skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Fuktighet i underlaget – utføres ved visuell inspeksjon.	Kontinuerlig visuell kontroll før påføring av heftbru og mørtel/betong.	Fuktigheten i underlaget skal være i henhold til spesifiserte krav.
Temperatur i underlaget – utføres ved bruk av termometer. Målingene registreres når temperaturen er stabil, det vil si når temperaturen endres mindre enn én grad hvert 5. minutt.	Kontinuerlig før mørtling/utstøping.	Temperaturen i underlaget skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Vindstyrke – utføres ved bruk av anemometer.	Kontinuerlig så lenge arbeidene pågår.	Vindstyrken skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Tykkelse eller overdekning av reparasjonsmaterialene - utføres ved måling med tommestokk.	Stikkprøver i henhold til <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Overdekningen skal være i henhold til spesifiserte krav.
Omgivelsestemperatur – utføres ved bruk av termometer.	Kontinuerlig så lenge arbeidene pågår, inkludert nødvendig herdetid.	Omgivelsestemperaturen skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Nedbør – utføres ved visuell observasjon av regn, snø, dugg, og sprut.	Daglig så lenge arbeidene pågår.	I henhold til spesifiserte krav. Ingen nedbør direkte på konstruksjonen verken under eller en viss tid før/etter påføring.
Betongens eller mørtelens konsistens – utføres ved synk-, vebe- eller utbredelsesmåling.	Daglig eller for hvert parti.	Konsistensen skal være i henhold til spesifiserte krav.
Trykkfasthet - utføres ved trykkprøving av utstøpte prismer eller terninger eller utborede kjerner fra sprøytede prøveplater	Prøveomfang som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Trykkfastheten skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Herdetiltak – utføres ved visuell kontroll	Reparerte flater.	Herdetiltak skal være iverksatt umiddelbart etter mørtling/sprøyting/støping
Dekningsgrad belegg – utføres ved visuell inspeksjon.	Kontinuerlig før mørtling/utstøping.	Korrosjonsbeskyttelsen skal dekke synlig armeringsoverflate. Heftbroen skal dekke hele heftflaten.

Figur 75 Prøving og kontroll før og under påføring av reparasjonsprodukter Tabell 88.22-3. [50]

- Prøving og kontroll etter herding utføres i henhold til tabell 88.22-4. [NS-EN 1504]

Type prøving/kontroll - kontrollmetode	Kontrollomfang	Krav
Delaminering - utføres ved banking med hammer e.l.	Reparerte flater skal kontrolleres ved systematiske stikkprøver etter 14-28 døgns herding, som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Det skal ikke være noen form for bom/delaminering på betongoverflaten etter reparasjon.
Tykkelse eller overdekning av reparasjonsmaterialene – utføres ved overdekningsmåler.	Prøveomfang som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Overdekningen skal være i henhold til spesifiserte krav.
Heftfasthet - utføres ved avtrekksprøving i henhold til NS-EN 1542.	Utføres på reparerte flater etter 14-28 døgn. Prøveomfang som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Heftfastheten skal være minimum 1,2 MPa, og ingen enkeltprøver skal være mindre enn 1,0 MPa.
	Utføres på anodemørtelen etter 14-28 døgn. Prøveomfang som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Heftfastheten skal være minimum 1,5 MPa, og ingen enkeltprøver skal være mindre enn 1,0 MPa.
Rissdannelse i reparasjonen - utføres ved visuell kontroll eller måling med risslinjal/risslupe.	Reparerte flater skal kontrolleres ved systematisk stikkprøvekontroll etter minimum 28 døgn, som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Reparasjoner skal ikke ha riss med rissvidde over 0,1 mm.
Farge og struktur på ferdig overflate - utføres ved visuell inspeksjon.	Hele overflaten skal kontrolleres.	Sprang og grater skal ligge innenfor spesifiserte krav. Det skal ikke forekomme lepper inn på eksisterende betong. Overflatestruktur og farge skal være i henhold til krav angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .

Figur 76 Prøving og kontroll etter herding. Tabell 88.22-4. [50]

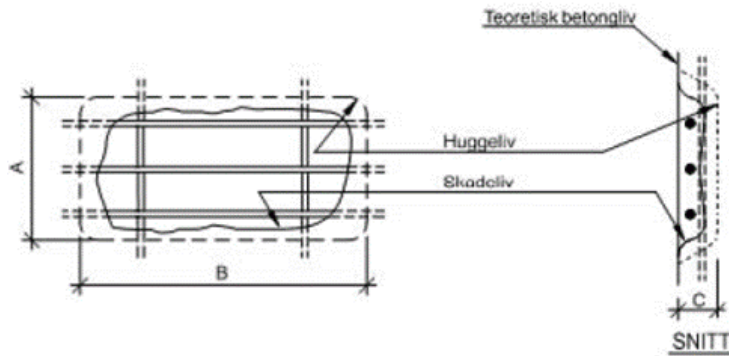
7.1.6 Regler for volumberegning [NS-EN 1504]

Mengden måles som volum reparert betong. Beregningsprinsipp er basert på skadeform. Skadeform er hovedsakelig delt i flateskader, hjørneskader, kantskade plate-vinge, og kantskade UK-bjelke. [50]

Flateskade

Ved beregning av volum av flateskade brukes huggeliv som er noe større enn synlig skade på betong eller såkalt skadeliv. Dette kan forårsake en del ekstra kostnader fordi beregningsvolum blir noe større enn skaden viser frem.

C = Gjennomsnittlig uthuggingsdybde
 Avregningsvolum = A x B x C dm³ (liter)



Figur 77 beregning av volum ved flateskader. [50]

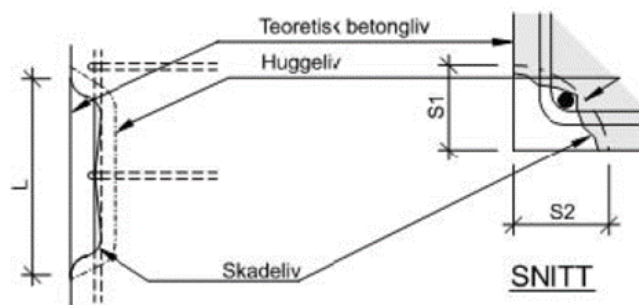
Hjørneskade

Volumberegning ved hjørneskader tar også hensyn til huggeliv som er noe større enn skadeliv.

$$\text{Avregningsvolum} = \frac{1}{2} \times S_m^2 \times L \text{ dm}^3 \text{ (liter)}$$

$$S_m = \frac{1}{2} \times (S_1 + S_2)$$

Største sidekantlengde S for at det skal regnes som hjørneskade er 4 dm.

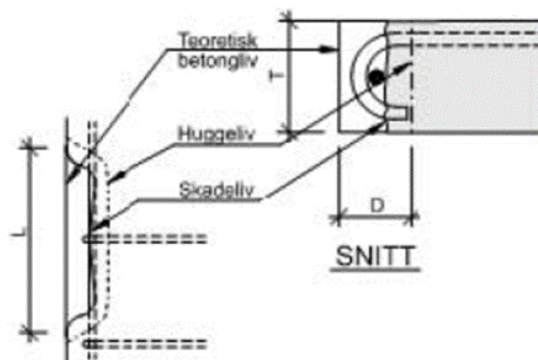


Figur 78 Beregning av volum ved hjørneskader. [50]

Kantskade -plate vinge

Ved kantskader på betongplater er dybden avgjørende faktor for beregning av reparasjonsvolum, og med det er viktig som faktureringsgrunnlag.

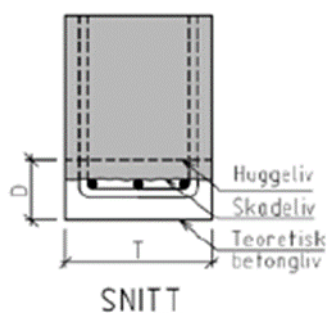
$$\text{Avregningsvolum} = D \times T \times L \text{ dm}^3 \text{ (liter)}. \text{ Enhet: dm}^3 \text{ (liter)}$$



Figur 79 Beregning av volum ved kantskade-plate vinge. [50]

Kantskade –UK bjelke

Avregningsvolum = $D \times T \times L$ dm³ (liter). Enhet: dm³ (liter)



Figur 80 Volumberegning av kantskade underkant bjelke. [50]

7.1.7 Kostnader ved mekaniskreparasjoner av betong

Veiledende pris på mekaniskreparasjon på betong forandres hvert år, og kan variere fra entreprenør til entreprenør, fordi dette er et konkurranseutsatt marked. Per dagsdato er pris på en del av reparasjonsprosesser vist i tabeller på Excel ark. Det er viktig å nevne at inspeksjonskostnader, administrative kostnader, prosjekteringskostnader og trafikkavviklingskostnader, kommer i tillegg, og alle andre avgifter. På gamle betongkonstruksjoner er det ofte en del «overraskelser», som blir oppdaget først ved selve reparasjon, og det er ikke uvanlig at tilleggskostnader kan komme helt opp på ca. 20–25% av entreprisekostnader, og i ekstreme tilfeller enda mer.

I Excel tabeller er prisene beregnet som en gjennomsnittspris på 12 forskjellige bruer i Midt Norge, og bruene er med forskjellig reparasjonsbehov og vanskelighetsgrad.

Pris på forskaling i 2017, Prosesskode 2, prosess 84.2

		Prosess tittel	Enhet	Pris
		Forskaling		
84.21		Plan forskaling over vann	m ²	1200
84.211		Plan forskaling, valgfri forskalingshud (ikke synlige flater)	m ²	800
84.2191		Forskaling pr bru opp til 10m ²	m ²	1800
84.2192		Forskaling pr bru areal mere enn 10m ²	m ²	720
84.221		Ensidig veggforskaling, valgfri forskalingshud (ikke synlige fl)	m ²	800
84.242		Gjenstående forskaling	m ²	2000
84.244		Forskaling av spalter (fugeåpninger)	m ²	3000
84.27		Forskaling under vann	m ²	3600

Figur 81 Pris på forskaling i 2017, Prosesskode 2, prosess 84.2

Pris på armering i 2017, Prosesskode 2, prosess 84.3

	Armering.		
84.31	Armering kamstål B500NC	tonn	18000
84.312	Armering B500NC, Ø12	tonn	18000
84.313	Armering B500NC, Ø16	tonn	18000
84.314	Armering B500NC, Ø20	tonn	18000

Figur 24 Pris på armering i 2017, Prosesskode 2, prosess 84.3

Pris på betong i 2017, Prosesskode 2, prosess 84.4

	Betong		
84.41	Betongstøp over vann, normalvektsbetong		
84.411	Betongavretting på løsmasser	m2	300
84.4122	Betong B45 SV-Standard	m3	3500
84.4128	Betong B45 SV-standard opp til 25m3 pr bru	m3	2800
84.4129	Betong B45 SV-standard mer enn 25m3 pr bru	m3	2300
84.431	Undervannsstøp med B35 M40 AUV-betong	m3	5400

Figur 25 Pris på betong i 2017, Prosesskode 2, prosess 84.4

Pris på overflatebehandling i 2017, Prosesskode 2, prosess 84.4

	Overflatebehandling		
84.451	Avretting og pussing av fri (uforskalt) overflate	m2	100
84.461	Herdetiltak for forskalte flater	m2	30
84.62	Rengjøring av betongoverflate, tørre metoder	m2	80
84.811	Konstruktiv liming av fersk betong til herdnet betong	m2	300
84.861	Grupper av bolter eller gjengestenger i ikke-forskalte flater	stk	800

Figur 26 Pris på overflatebehandling i 2017, Prosesskode 2, prosess 84.4

Pris på lift ved inspeksjon i 2017, Prosesskode 2, prosess 88,11

	Inspeksjon, drift og vedlikehold		
88.111	Brulift	time	500
88.112	Underbrulift montert på lastebilchassis	time	1700
88.114	Bomlift med 40m plattformhøyde	time	100
88.115	Bomlift med 20m plattformhøyde	time	100

Figur 27, Pris på lift ved inspeksjon i 2017, Prosesskode 2, prosess 88,11

Pris på stilaser i 2017, Prosesskode 2, prosess 88.2191

	Vedlikehold, beskyttelse og reparasjon av betong		
88.2191	Spesielle riggforhold – stillaser	m2	450

Figur 28 Pris på stilaser i 2017, Prosesskode 2, prosess 88.2191

Pris på prosesser ved mekanisk reparasjon i 2017, Prosesskode 2, prosess 88.2

	Mekanisk reparasjon		
88.223	Fjerning av betong	liter	50
88.2231	Mekanisk meisling	dm3	50
88.2233	Vannmeisling	dm3	35
88.2238	Mekanisk reprasjon med mekanisk meisling	dm3	72
88.2239	Mekanisk reprasjon med vannmeisling	dm3	63
88.2241	Rengjøring av armering	m	10
88.2242	Påføring av korrosjonsbeskyttelse	m	10
88.2243	Erstatning av skadet armering	m	50
88.2251	Forbehandling	m2	500
88.22512	Forbehandling med sandblåsing	m2	120
88.2252	Forskaling	m2	1000
88.2253	Forvanning	m2	10
88.2254	Heftbru for konstruktiv liming	m2	100
88.2255	Håndmørtling	dm3	
88.2257	Utstøping	liter	5
88.2258	Etterbehandling (herdetiltak)	m2	30

Figur 29, Pris på prosesser ved mekanisk reparasjon i 2017, Prosesskode 2, prosess 88.2

Pris på boring i betong, 2017, Prosesskode 2, prosess 88,2 og 3

	Boring i betong		
88.2269	Boring og fastgysing av dybler og skjøtejern	stk	180
88.319	Skjerming	m2	32

Figur 30, Pris på boring i betong, 2017, Prosesskode 2, prosess 88,2 og 3

Pris på betongsaging i 2017, Prosesskode 2, prosess 88.524

	Saging		
88.524	Saging	m	120

Figur 31, Pris på betongsaging i 2017, Prosesskode 2, prosess 88.524

Pris på fuktisolering i 2017, prosesskode 2, prosesser 88.53 og 88.549

	Fuktisolering		
88.53	Fuktisolering	m2	450
88.549	Tilslutning mot kantdrager/føringskant	m	300

Figur 32, Pris på fuktisolering i 2017, prosesskode 2, prosesser 88.53 og 88.549

7.2 Riss og sprekker

7.2.1 Volumendringer og spenninger i betong

I følge Øyvind Bjøntegaard og Statens vegvesens, rapport Nr.2565 «Volumendringer og risstendens i betong» [2009], volumendringer i betong dannes både i herdeprosessen (indre forhold) og ved utveksling av fukt til omgivelsene (ytre forhold).

Dette skjer ofte under en eller annen form for fastholding, noe som skaper spenninger og som igjen kan medføre at betongen risser opp.

Riss og sprekker kan grovt sett ha følgende opphav:

- 1) Volumendringer i selve betongen.
- 2) Nedbrytning (for eksempel sprengeffekter ved armeringskorrosjon).
- 3) Brukslast (egenvekt, nyttelast, vindlast, osv.) [38]

Hva som er skadelige riss for en betongkonstruksjon er avhengig av situasjonen og er derfor ikke entydig, men når det gjelder bestandighet konkluderer fleste undersøkelser med at riss kan være markert negative når rissene er større enn ca. 0.3–0.4 mm og går inn til armeringen. Det kan være fornuftig å kalle skaden for en sprekke når risset er større enn 0.4 mm. Kritisk rissvidde vil variere med funksjonskrav som settes til konstruksjonen og med miljøet den eksponeres for.

Figur 70 viser bilde med lekkasje i riss i Bjørvika tunnelen i Oslo 2010, og måling av rissvidde med risslinjal.



Figur 33 Reidar Kompen studerer lekkasje i riss i Bjørvika tunnelen i Oslo 2010 [39], og måling av rissvidde med risslinjal [26]

7.2.2 Groing av riss

Statens vegvesen i sin erfaringsrapport nr.2580 fra prosjekt «Senketunnelen i Bjørvika» [2010], påstår at i betongkvaliteter basert på ordinær portlandsement vil riss med rissvidde mindre

enn ca. 0,3 mm normalt ha en tendens til å trutne ved tilgang på fritt ferskvann eller sjøvann, også når konstruksjonen er utsatt for moderate vanntrykk.

Dette skyldes utfelling av kalk (CaOH) i risset. På luftsiden vil denne kalken etter hvert karbonatisere til kalsiumkarbonat (Calcite), og dermed få en fast struktur.

Påføring av natriumsilikat på risset vil framskynde trutningen ved at den utfelte kalken omdannes til kalsiumsilikathydrat (CSH).

I sjøvann forsterkes trutningen ved utfelling av sjøvannselementer, som danner komplekse salter med kalken, f eks Friedelsalt, og magnesiumhydroksid (Brucite). [39]

7.2.3 Forsegling av riss/sprekker og krav

Rissene og sprekkene utbedres på det tidspunkt rissvidden er størst. Krav til utseende angis ofte i en spesiell beskrivelsen. Mengden måles som løpemeter reparert riss eller sprekk.

Rissene og sprekkene pensles, injiseres eller fylles med materialet ved gravitasjonsinjisering.

Før materialet påføres over risset, rengjøres rissene for løse partikler og forurensinger med trykkluft.

Materialet påføres med pensel eller sprøyte over risset. Overflødig masse fjernes etter avsluttet behandling. Betongoverflaten langs risset eller sprekken bør forbehandles i angitt bredde før forsegling. Materialene bør tilfredsstille relevante krav i henhold til NS-EN 1504-2 og tabell 88.27-2. Farge tilpasses den eksisterende betongoverflaten.

Som med alle andre reparasjonsprosesser, standarden NS-EN1502 stiller en del krav for reparasjon, og disse er følgende:

Prøving og kontroll av underlaget utføres i henhold til tabell 88.241-1.

Tabell 88.241-1 Prøving av kontroll av underlaget

Type prøving/kontroll – kontrollmetode	Kontrollomfang	Krav
Fuktighet i underlag og riss – utføres ved visuell inspeksjon av rissene eller undersøkelse av utborede kjerner.	Riss og omgivende betongoverflater kontrolleres visuelt. Kontroll av kjernepøver utføres på stikkprøvebasis.	Fuktigheten i underlaget skal være i henhold til spesifiserte krav.
Forurensinger i riss – utføres ved prøvetaking eller kjemisk analyse.	Utføres som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Det skal ikke være noen form for forurensing i risset.

Figur 34 Prøving av kontroll av underlaget. Tabell 88.241-1 [50]

Prøving og kontroll før og under pensling/injisering utføres i henhold til tabell 88.241-2.

Tabell 88.241-2 Viser prøving og kontroll før og under pensling/injisering

Type prøving/kontroll - kontrollmetode	Kontrollomfang	Krav
Temperatur i underlaget – utføres ved bruk av termometer. Målingene registreres når temperaturen er stabil, det vil si når temperaturen endres mindre enn én grad hvert 5. minutt.	Kontinuerlig så lenge arbeidene pågår.	Temperaturen i underlaget skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Omgivelsestemperatur – utføres ved bruk av termometer.	Kontinuerlig så lenge arbeidene pågår, inkludert nødvendig herdetid.	Omgivelsestemperaturen skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Luftfuktighet - utføres ved bruk av hygrometer.	Kontinuerlig så lenge de aktuelle arbeidene pågår.	Luftfuktigheten skal være i henhold til spesifiserte krav.
Nedbør – utføres ved visuell observasjon av regn, snø, dugg, og sprut.	Daglig så lenge arbeidene pågår.	I henhold til spesifiserte krav. Ingen nedbør direkte på konstruksjonen verken under eller en viss tid før/etter påføring.

Figur 35 Prøving og kontroll før og under inisjering-pensling. Tabell 88.241-2 [50]

Prøving og kontroll etter herding utføres i henhold til tabell 88.241-3.

Tabell 88.241-3 Viser prøving og kontroll etter herding

Type prøving/kontroll - kontrollmetode	Kontrollomfang	Krav
Rissenes fyllingsgrad – utføres ved visuell inspeksjon	Hele overflaten langs risset inspiseres.	Risset skal være helt fylt i overflaten.

Figur 36 Prøving og kontroll etter herding. Tabell 88.541-3 [50]

7.2.4 Injisering

Kjemisk injeksjon benyttes ved tetting av betong og riss eller sprekker på betongkonstruksjoner og i fjell. Kjemisk injeksjon er en metode for å senke permeabiliteten, stabilisere eller reparere en konstruksjon. Grunnprinsippet for kjemisk injeksjon er at hull bores i løs masser, berg eller betong, og injeksjonsmidler presses inn i åpne porer og sprekker under høyt trykk. [30]

Lekkasjetetting med sementinjeksjon. Vanligvis injiseres med forskjellige typer løsningsmiddelfrie Epoxyprodukter. Disse produktene er lettflytende, har en høyere mekanisk styrke enn betong.



Figur 37 Lekkasjetetting med sementinjeksjon [31]

Bilde nede er tatt av AWAB industrigulv som utførte injisering. www.awabindustrigolv.se



Figur 38 Injisering tatt av AWAB industrigulv www.awabindustrigolv.se

Forseglingsmassen kan enten være sement eller epoksybasert. Før injisering, rengjøres rissene for løse partikler, slam, forurensinger, olje, osv. Betongoverflatene på hver side av risset rengjøres om nødvendig for å sikre god heft for forseglingsmassen som påføres over rissene for å hindre lekkasje under injiseringen.

Det stilles krav til injiseringsmaterialer og materialer er delt i 3 materialgrupper (F, D og S).

For kraftoverførende injiseringsmaterialer (F) til tetting av riss/sprekker.

For plastiske injiseringsmaterialer (D) til tetting av riss/sprekker med bevegelse.

For svellende injiseringsmaterialer (S) til tetting av riss med lekkasjer.

Tabell 88.243–1 Klassifisering injiseringsmateriale U(.) W(.) (.) (/..)(.).

Tabell 88.243–1 Klassifisering injiseringsmateriale som er delt i materialgrupper. Disse gruppene er kraftoverførende, plastiske og svellende.

U	U angir materialgruppe - F (kraftoverførende), D (plastiske) og S (svellende).
(.)	Angir klasse 1 eller 2
W	W beskriver rissforhold i fire parenteser.
(.)	Første parentes angir rissvidde (1=0,1 mm, 2=0,2 mm, etc.)
(.)	Andre parentes angir grad av fuktighet (1 for tørr, 2 for fuktig, 3 for våt/vannfylt og 4 for vanngjennomgang),
(/..)	Tredje parentes angir minimums- og maksimumstemperatur under injisering
(.)	Fjerde parentes gjelder kun materialgruppe F. Angir anvendelighet ved bevegelse i risset i herdefasen (1 velges for daglige bevegelser større enn 10 % eller maksimalt 0,03 mm, 0 velges ved mindre bevegelser.)

Figur 39 Klassifisering av injiseringsmateriale. Tabell 88.243–1 [50]

Riss større enn 3 mm krever et tiksotropisk injiseringsmateriale for at materialet skal forbli i risset.

Tiksotropi, den egenskap hos en væske at den blir mer lettflytende ved omrøring eller rysting, mens den tykner når den får stå i ro. Kvikkleiren er tiksotropisk [11]

7.3 Overflatebehandling

Det finnes en rekke prinsippmetoder for å sikre at betongen oppnår forventet levetid, og en av dem er overflatebehandling. Overflatebehandling blant annet innebærer flere metoder og noen av dem er: slemming, sparkling, pussing, impregnering, filmdannende belegg, antigraffitbehandling, fjerning av graffiti fra ubehandlet eller allerede «antigrafittbehandlet» overflate, membraner, osv.

Det er generelt to prinsipper for å beskytte betong:

- Beskyttelse mot inntrenging av vann, klorider, kjemikalier, og CO₂.
- Kontrollere fuktighet for å hindre alkalireaksjoner.

Formål med overflatebehandling er å beskytte betongen mot inntrenging av aggressiver som klorider, CO₂, væsker eller vann. [5]

Overflatebehandling stopper ikke korrosjon og må utføres før kloridene har nådd armering. Fordeler med overflatebehandling er ved siden av beskyttelse mot inntrenging av klorider, kjemikalier, og CO₂, at overflatebehandling generelt har liten vektøkning og pent utseende. Ulempe er at for å oppnå god resultat, temperatur og gode klimatiske forhold må være til stede.

Valg av overflatebehandling for betong er avhengig av overflate, type konstruksjon, miljøet konstruksjonen står i samt skadetype og omfang. Type overflatebehandling velges ut fra prioritering av ønskede egenskaper.

Overflatebehandlingsmetoder som anvendes i Statens vegvesen, er basert på NS-EN1504-2.

I følge NS-EN1504 følgende arbeidsoperasjoner inngår i forbehandling og overflatebehandling:

- Referansefelt
- Forbehandling av betongflater
- Påføring av overflatebehandling
- Etterbehandling (herdetiltak).

Etablering av referansefelt er en av kravene i NS-EN1504-2, og praktiseres for å teste metoden og eventuelt avdekke feil.

7.3.1 Forbehandling

Forbehandlet flate skal ifølge NS-EN1504, gi tilstrekkelig inntrengningsdybde for impregnering og heft for filmdannende overflatebehandling.

Eksisterende overflatebehandling fjernes helt inn til ren betong. Ferdig rengjort flate skal være fri for sand, løse partikler, sementslam, sot, smuss, olje, herdemembran, kjemikalier, mose, alger osv.

Krav til ruhet i underlaget er avhengig av type etterfølgende overflatebehandling og skal angis i en spesiell beskrivelsen.

Ved kjemisk malingsfjerning påføres kjemikaliene nedenfra og oppover. Den oppløste malingen fjernes også nedenfra og oppover, men avsluttende skylling/spyling utføres ovenfra og nedover.

Avsluttende skylling/spyling foretas for å fjerne gjenværende rester av kjemikalier. Dersom det valgte kjemikalie gjør det nødvendig å påføre nøytraliserende middel før skylling eller spyling, må dette utføres.

Dersom entreprenøren står fritt i valg av forbehandlingsmetode, skal det velges en metode som er mest mulig skånsom både mot den underliggende betongen og det omkringliggende miljøet.

Ifølge NS-EN1504-2, prøving og kontroll av underlaget etter forbehandling utføres i henhold til tabell 88.27-3 [50]

Ifølge NS-EN1504-2, prøving og kontroll av underlaget etter forbehandling utføres i henhold til tabell 88.27-3.

Type prøving/kontroll – kontrollmetode	Kontrollomfang	Krav
Delaminering – utføres ved banking med hammer e.l.	Hele betongoverflaten skal kontrolleres ved systematiske stikkprøver som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Det skal ikke være noen form for bom/delaminering i underlaget etter forbehandling.
Renhet – utføres ved visuell inspeksjon eller prøving med klebebånd.	Hele betongoverflaten skal kontrolleres visuelt. I tillegg utføres stikkprøver med klebebåndstesten som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Det skal ikke være noen form for urenheter, forurensinger eller utilsiktede rester av opprinnelig overflatebehandling i underlaget. Klebebåndstesten skal kun vise ubetydelig støv på klebebåndet.
Overflatejevnhhet – utføres ved visuell inspeksjon.	Hele betongoverflaten skal kontrolleres.	Omfanget av porer, groper eller hulrom i underlaget registreres og legges til grunn for vurdering av behov for porefylling eller sparkling før påføring av belegg.
Ruhet *) – utføres ved visuell inspeksjon, sandprøving eller profilmåler.	Hele betongoverflaten skal kontrolleres visuelt. Annen prøving utføres som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Ruheten skal være i henhold til spesifiserte krav.
Underlagets strekkfasthet i overflaten *) – utføres ved avtrekksprøving i henhold til NS-EN 1542.	Prøveomfang som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Strekkfastheten i betongunderlaget skal tilfredsstillende spesifiserte krav.

Figur 40 tabell 88.27-3 Prøving og kontroll etter forbehandling [50]

7.3.2 Mottakskontroll og krav til værforhold

Mottakskontroll av produkter og systemer skal utføres som identitetskontroll. Merking og etikettering skal være i samsvar med NS-EN 1504-8, sertifikat og/eller krav angitt i en spesiell beskrivelsen. Identiteten kontrolleres også alltid før bruk av produkter.

Ved overflatebehandling stilles det krav til værforhold for arbeidsutførelse, og ifølge NS-EN 1504 og Prosesskode 2 [50], generelle krav er følgende:

- Temperaturen på overflaten: $+5\text{ °C} < T < +25\text{ °C}$, stabil eller fallende
- Temperatur i luft under utførelse: $+5\text{ °C} < T < +25\text{ °C}$, stabil eller fallende
- Relativ fuktighet i luft, maksimum 95 %
- Vindhastighet maksimum 10 m/s
- Direkte nedbør, sol og temperaturstigning på overflaten skal unngås

Prøving og kontroll før og under påføring av overflatebehandling utføres i henhold til tabell 88.27–4.

Type prøving/kontroll – kontrollmetode	Kontrollomfang	Krav
Omgivelsestemperatur – utføres ved bruk av termometer.	Kontinuerlig så lenge arbeidene pågår, inkludert nødvendig herdetid.	Omgivelsestemperaturen skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Temperatur i underlaget – utføres ved bruk av termometer. Målingene registreres når temperaturen er stabil, det vil si når temperaturen endres mindre enn én grad hvert 5. minutt.	Kontinuerlig så lenge arbeidene pågår.	Temperaturen i underlaget skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Luftfuktighet - utføres ved bruk av hygrometer.	Kontinuerlig så lenge de aktuelle arbeidene pågår.	Luftfuktigheten skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Fuktighet i underlaget – utføres ved visuell inspeksjon eller fuktmålinger.	Kontinuerlig visuell kontroll under påføring av overflateprodukt. Stikkprøver av fuktinnhold i henhold til <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Fuktigheten i underlaget skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Nedbør – utføres ved visuell observasjon av regn, snø, dugg, og sprut.	Daglig så lenge arbeidene pågår.	Ingen nedbør direkte på konstruksjonen verken under eller en viss tid før/etter påføring.
Vindstyrke – utføres ved bruk av vindmåler.	Kontinuerlig så lenge arbeidene pågår.	Vindstyrken skal tilfredsstillende spesifiserte krav.
Duggpunkt – utføres ved bruk av hygrometer og termometer.	Duggpunktet kontrolleres som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Duggpunktet kontrolleres i henhold til spesifiserte krav.
Beleggets/kremens/gelens tykkelse i våt tilstand– utføres ved kam- eller hjulmåler umiddelbart etter påføring. Hver våtfilmprøve består av tre enkeltmålinger.	Målingene utføres jevnt fordelt på alle flater, som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Våtfilmtykkelsen skal være i henhold til spesifiserte krav.

Figur 41 Tabell 88.27–4 Prøving og kontroll før og under påføring av overflatebehandling [50]

7.3.4 Hydrofobereende impregnering

Impregnering utføres ved å sprøyte det hydrofobiske foringsmateriale på overflaten, som reagerer med silikatene og den fuktighet som er til stede. Dette resulterer i et lag som er vannavstøtende, men dampgjennomtrengelig, som begrenser inntrengning av vann og dermed reduserer den interne fuktigheten [41]

Ifølge NS-EN 1504–2 ved hydrofobereende impregnering porer og kapillærer blir internt belagte, men ikke fylt opp. Det blir ingen film på overflaten av betong og det blir liten eller ingen endring i utseendet.

Hydrofobereende impregnering er vanligvis fargeløs og det bør etableres rutiner som sikrer at alle flater blir behandlet.

Underlaget må være tilstrekkelig tørt og sugende ved påføring, slik at inntrengingsdybde oppnås.

Den hydrofoberende impregneringen påføres med kost, rulle eller sprøyte. Produktet påføres i en mengde som sikrer en inntrengningsdybde i betongen på minimum 3 mm.

Tegning på figur 79 er tatt ut fra NS-EN1504-2, og viser en typisk hydrofoberende impregnering.



Figur 42 tegning av hydrofoberende impregnering [NS-EN1504-2]

Vannavisende impregnering er stoffer som silaner eller siloksaner, som trenger inn i betongen og gjør poreveggene vannavstøtende.

Siloksaner består av større molekyler enn silaner. Silaner og siloksaner trenger inn i betongens poresystem og reagerer med det basiske miljøet slik at det fester seg godt på poreveggen. Inntrengningsdybden er avhengig av: Porøsitet, vanninnhold og kontakttid. Ikke UV-bestandige. [18]



Figur 43 Impregnert området på høyresiden [34]

7.3.5 Impregnering

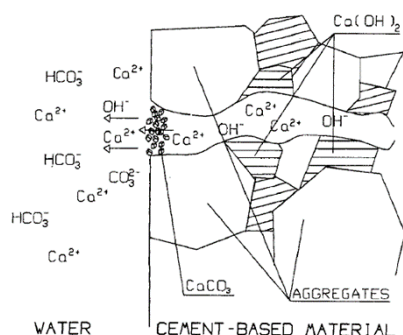
Impregnering reduserer porøsitet på betong overflate og gjør overflaten sterkere. Porer og kapillarer er delvis eller helt fylt opp.

Tegning nede er tatt ut fra NS-EN1504-2, og viser en typisk impregnering.



Figur 44 Tegning illustrerer impregnering [NS-EN1504-2]

Vannglass er løselig alkalisk natrium silikat ($\text{Na}_2 \cdot n\text{SiO}_2$) som reagerer med betong og danner beskyttende forbindelser. [22]



Figur 45 Impregnering [22]

Stoffer som blir dannet trenger inn i betongen og fører til tettende utfellinger i porene når de møter kalsium i betongen. Belegg av kalsiumsilikater og utfelling av CaCO_3 tetter porene.

Det er en rekke ulike vannglassbaserte produkter på markedet. Forskjellen mellom produktene er typisk de komponentene som er tilsatt, for eksempel retardere og akseleratorer. For at vannglass skal reagere trengs fritt kalsiumhydroksid. Store mengder silikastøv, flyveaske og lignende, kan redusere reaksjonsgraden.

7.3.6 Belegg

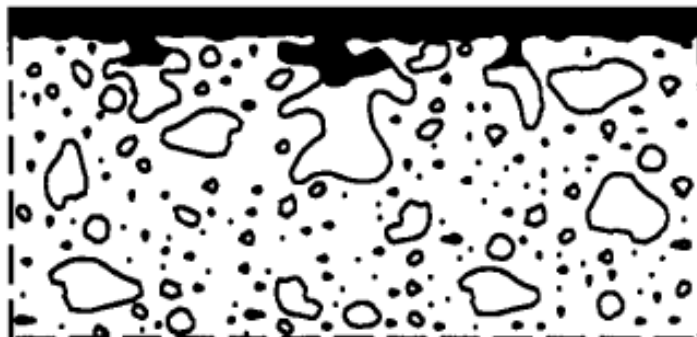
Belegg er overflatebehandling som i prinsipp i sinn helhet dekker og tetter betong, selv om en del belegg tillater betongen å puste til en viss grad, noe som reduserer dens fuktighetsinnhold. [41]

Belegg er effektiv kloridbremser når belegg er intakt. Effekt ved alkali reaksjoner kan være negativt ved høy fukt inne i konstruksjon.

Elastisitet av materialer er nødvendig. Belegg kan være svak mot UV-stråling og dårlig med tanke på langtidsbestandighet.

Heft kan variere ved høyvanninnhold i betong ved påføring. Hvis fukt beholdes i større mengder under belegg, kan dannes frostskafer?

De viktigste kriteriene for belegg kan oppsummeres som følgende: kjemisk motstandsdyktighet, motstand mot diffusjon, værbestandighet, motstand mot ekspansive krefter, estetisk utseende, brodannende evne over sprekker, adhesjonsstyrke og slitestyrke. [41]. Figur 83 Tegning illustrerer påført belegg på betong [NS-EN1504-2]



Figur 46 Tegning illustrerer påført belegg på betong [NS-EN1504-2]

Belegg har vanligvis tykkelse 0,1–5,0 mm, mens ved spesielle anvendelser kan også kreve en tykkelse større enn 5 mm. Bindemidler kan være organiske polymerer, organiske polymerer med sement som fyllstoff eller hydraulisk sement modifisert med polymerdispersjon. [41]

Bilder nede viser kulvert før og etter beleggpåføring.



Figur 47 Kulvert før og etter beleggpåføring [34]

7.3.7 Membran

Membraner er kan være både hånd monterte og limte eller flytende påførte.

I følge Sika [42] flytende påførte polymermembraner er elastiske og fleksible polymersystemer, vanligvis basert på polyuretan eller polyurea. Disse materialene brukes på forbehandlede og primede betongoverflater, påført med hånd eller sprøyte.

Flytende påførte membraner kan også hindre sideveis vannunderstrømming i tilfelle av lokale skader. Påføring under betongfundamentet utføres på en spesiell fiberduk før det armerte betongfundamentet utstøpes.

Membraner vanligvis har høy kjemikaliebestandighet og slitasjestyrke. Membraner kan brukes som tilleggsbeskyttelse av betongkonstruksjoner mot aggressiv påvirkning så som klorider, sulfater eller biologisk angrep. Typiske prosjekter er betongkilverter, parkeringshus under bakken, næringsutvikling, boligbygg, industrianlegg, osv.

Det hellimte vanntette membransystemet er relativt enkelt å installere på byggeplassen. Det må holdes fokus på overlapper og endeskjøter. Disse kan ordnes med «sveising», tettebånd eller selvheftende tape.

7.3.8 Materialkrav ved overflatebehandling

I følge[NS-EN1504-2] og Prosesskode 2 [50] Hydrofobereende impregnering skal foretas med produkter basert på rene silaner og uten løsemidler. Produktet skal være i krem eller gelform.

Produktet skal tilfredsstill minimumskrav i NS-EN 1504-2, samt krav og klasser som er gitt i Tabell 88.27-1.

Egenskap	Metode	Krav
Motstand mot fryse-/ tineeksponering under saltvannspåkjønning	NS-EN 13581	Produktet skal ikke gi redusert motstand mot fryse-/ tineeksponering sammenlignet med ubehandlet referanse
Inntrengningsdybde	NS-EN 1504-2	I henhold til NS-EN 1504-2, klasse 2 (større inntrengningsdybde enn 10 mm)
Uttørkingshastighet	NS-EN 13579	I henhold til NS-EN 1504-2, klasse 1
Motstand mot kloridinntrenging	SINTEF MB 71301	Større enn 75 % reduksjon i forhold til referansebetongen
Løsningsevne for asfalt	SINTEF MB 70125	Ingen oppløsning. Kun relevant når produktet kan komme i kontakt med asfalt.

Figur 48 Tabell 88.27-1 Krav til hydrofobereende impregnering [50]

Filmdannende belegg skal være dokumentert i henhold til NS-EN 1504-2, beskyttelsesprinsipp 1. Produktet skal tilfredsstill minimumskrav i NS-EN 1504-2, samt krav og klasser gitt i Tabell 88.27-2.

Tabell 88.27–2: Krav til egenskaper for filmdannende belegg, utover minimumskrav gitt i NS-EN 1504–2 for prinsipp 1.

Egenskap	Metode	Krav
Vanndamp-permeabilitet	NS-EN ISO 7783	$S_D < 2 \text{ m}$
Kapillærabsorpsjon og vannpermeabilitet	NS-EN 1062-3	$w < 0,02 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$
Termisk kompatibilitet for utendørs eksponering i saltet miljø	NS-EN 13687-1	Krav for ikke-trafikkerte flater
Egnethet på våt betong	NS-EN 13578	Minimumskrav i NS-EN 1504-2
Rissoverbyggende evne	NS-EN 1062-7	A3 (-20 °C)
Motstand mot kloridinntrengning	SINTEF MB 71301	Større enn 75 % reduksjon i forhold til referansebetongen

Figur 49 Krav til filmdannende belegg. Tabell 88.27–2 [50]

7.3.9 Anti-graffiti behandling og annen overflatebehandling

Type beskyttelse, permanent eller offerbeskyttelse, angis i en spesiell beskrivelse. I følge NS-EN1504 Anti-grafittiprodukter skal tilfredsstillende krav gitt i svensk AMA Anläggning LFB.441: «Behandling av betongytør i bro med klotterskydd».

Øvrige typer overflatebehandling skal tilfredsstillende krav som eventuelt angis i den spesielle beskrivelsen.

7.3.10 Etterbehandling og herdetiltak

Umiddelbart etter påføring, skal tildekking av behandlet område utføres, dersom dette er nødvendig for å gi tilfredsstillende tørke og herdeforhold samt beskyttelse mot sol, vind og nedbør.

I henhold til NS-EN1504, prøving og kontroll etter herding utføres i henhold til tabell 88.27–5. Alle sår i overflatebehandlingen etter eventuelt prøvetaking skal utbedres og overflatebehandles med samme produkt som øvrige flater.

Tabell 88.27-5 Prøving og kontroll etter herding

Type prøving/kontroll – kontrollmetode	Kontrollomfang	Krav
Beleggets tykkelse i tørr tilstand *) – utføres ved metode angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Prøveomfang som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Beleggets tykkelse i tørr tilstand skal være i henhold til spesifiserte krav.
Beleggets dekningsgrad *) - utføres ved visuell inspeksjon.	Hele overflaten skal kontrolleres.	Belegget skal dekke hele overflaten. Det skal ikke være noen form for riss, hull eller skader i belegget.
Inntrengning av hydrofobere impregnering **) – utføres på utborede kjerner med angitt diameter. Kjernene splittes i lengderetningen og påføres vann. Inntrengningsdybden måles som avstand fra overflaten til overgangen mellom vannsugende og ikke-sugende betong. Inntrengningsdybden angis som middelverdien for hver bruddflate. Alle bruddflatene fotograferes med prøveidentitet synlig.	Prøveomfang som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Inntrengningsdybden av hydrofobere impregnering skal være i henhold til spesifiserte krav.
Hefffasthet *) - utføres ved avtrekksprøving i henhold til NS-EN 1542.	Prøveomfang som angitt i <i>den spesielle beskrivelsen</i> .	Hefffasthet skal være minimum 1,2 MPa, og ingen enkeltprøver skal være mindre enn 1,0 MPa. Alternativt brudd i belegget eller underbetongen.
Farge og struktur på ferdige overflater *) – utføres ved visuell inspeksjon.	Hele overflaten skal kontrolleres	Farge og struktur skal være i henhold til spesifiserte krav.

*) Gjelder kun filmdannende overflatebehandling

**) Gjelder kun hydrofobere impregnering

Figur 50 Tabell 88.27-5 Prøving og kontroll etter herding [50]

Oppsummering av overflatebehandling

Generelt god beskyttelse mot kloridinntrenging. Både vannavisende impregneringer og sementbaserte slemmemasser kan ha god kloridbremsende effekt. Store produktforskjeller er innen hver gruppe. Produktenes levetid og gjenbehandlingsbehov er sentrale tema. Kontroll av fuktighet – positiv eller negativ effekt på alkalireaksjoner. Relativt lite undersøkt prinsippmetode. Anbefales å bruke hvor vanninnhold i konstruksjon ønskes kontrolleres eller inntrenging helt stoppes.

Kapitel 8. Elektrokjemiske metoder for betongbeskyttelse

Lav pH verdi i betong er ofte hovedårsak til armeringskorrosjon. Elektrokjemiske metoder for betongbeskyttelse har som hovedmål å øke den lave pH verdien og med det å bringe armeringsstålet inn i en passiv, ikke-korroderende tilstand.

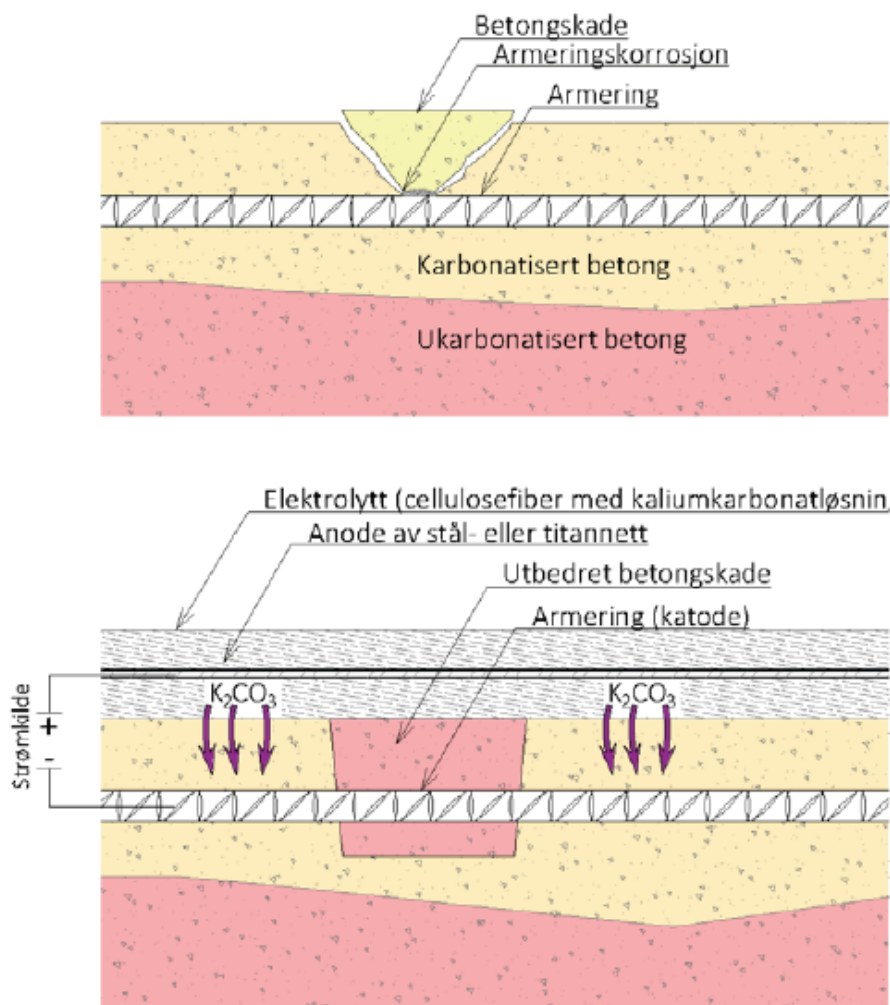
Det er i prinsipp tre elektrokjemiske metoder for betongbeskyttelse og disse er:

- Elektrokjemisk realkalisering
- Elektrokjemisk kloriduttrekk
- Katodisk beskyttelse

8.1 Elektrokjemisk realkalisering

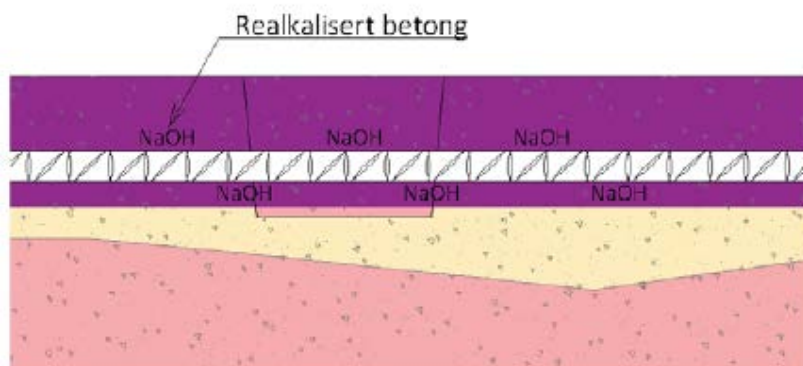
Elektrokjemisk realkalisering er metode som benyttes til å bekjempe armeringskorrosjon i betong som er infisert ved karbonatisering. Elektrokjemisk realkalisering utføres ved å påføre et elektrisk felt mellom armeringen og betongoverflaten.

Figur 88 illustrerer karbonatiseringsprosess og elektrokjemisk realkalisering.



Figur 51 karboniserings prosess og elektrokjemisk realkalisering [40]

Figur 89 viser illustrasjon av realkalisert betong etter gjennomført elektrokjemisk realkalisering. Legg merke at det er fremdeles i betongen en del infisert betong, men ikke rundt armering.



Figur 52 Realkalisert betong etter gjennomført elektrokjemisk realkalisering [40]

Ved elektrokjemisk realkalisering og kloriduttrekk, stilles en del krav i Prosesskode 2 [50]. Noen av dem er beskrevet i prosess 88.25, som sier blant annet at ved elektrokjemisk realkalisering, det skal ikke benyttes brannfarlige materialer. Anodematerialet skal være ledende. Maskevidden på nettet skal være slik at fibermassen er sikret god kontakt med hele betongoverflaten. Ledere skal være av materialer som kan motstå de fysiske og kjemiske påvirkningene de utsettes for. Kablenes tverrsnitt må tilpasses feltstørrelse og strømmengde. Instrumenter for måling av elektrisk motstand, for bestemmelse av armeringskontinuitet og elektrisk motstand mellom anode og armering, skal være høyohmige med en inngangsimpedans større enn $10 \text{ M}\Omega$.

Betongflatene skal deles inn i ulike behandlingsfelt og ulike behandlingsfelt som tilkobles sammestrømforsyning bør ha tilnærmet lik armeringstetthet. Elektrodenettet skal monteres med tilstrekkelig avstand (minimum 15 mm ved bruk av fibermasse og nett) til betongoverflaten, for å sikre tilfredsstillende kontakt mellom elektrolytt og betongoverflate. Nettet festes slik at funksjonen opprettholdes i hele behandlingstiden.

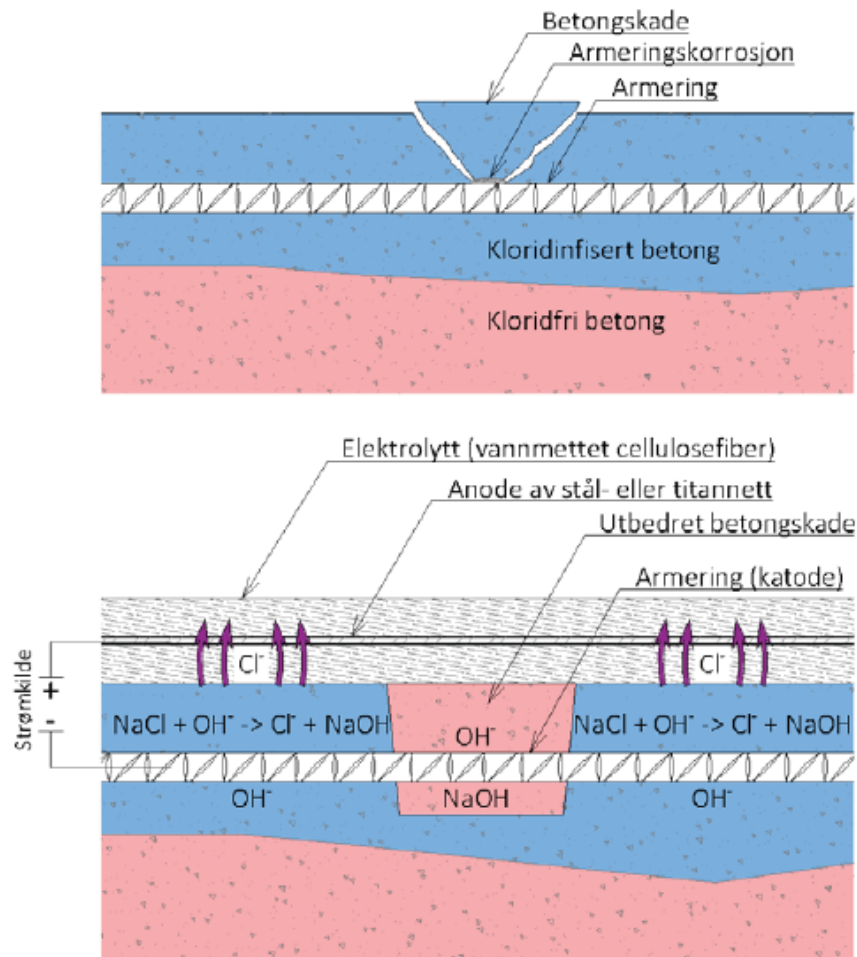
Det er viktig at det ikke oppstår kortslutning mellom anoden og armeringen. Det skal benyttes festeanordninger i betongen som ikke resulterer i metallisk kontakt med armeringen. Elektrolytten skal omhulle hele anoden og dekke hele betongoverflaten slik at det oppnås god kontakt til betongen. I perioder med direkte sollys kombinert med vind, må det settes i verk tiltak for å unngå uttørking av elektrolytten. Tilkobling av strøm skal skje feltvis og under nøye kontroll. Før tilkobling av hvert felt, skal det ved måling av motstand mellom armering og elektrodenett kontrolleres at det ikke er elektrisk kontakt (kortslutning). Ved oppstart skal spenningen reguleres slik at strømtettheten innen hvert avsnitt er ca. 1 A/m^2 armeringsoverflate. Når sluttkriteriet er oppnådd, avsluttes prosessen. [50]

8.2 Elektrokjemisk kloriduttrekk

Elektrokjemisk kloriduttrekk er en prosess hvor infisert betong med klorider plasseres i en elektrolytt mellom to elektroder og med det økes pH verdien i betong. En elektrolytt er et stoff som inneholder frie bevegelige ioner og som derfor er elektrisk ledende. Ved påtrykt spenning de negativt ladede kloridene trekkes mot den positive polen, og kloridene migrerer ut av betongen, og samles i elektrolytten rundt anoden.

Ifølge NS-EN1504 anodematerialet som benyttes ved elektrokjemisk kloriduttrekk skal være titannett belagt med platinametall-oksider. Elektrolytten skal omhulle hele anoden og dekke hele betongoverflaten slik at det oppnås god kontakt til betongen. [50]

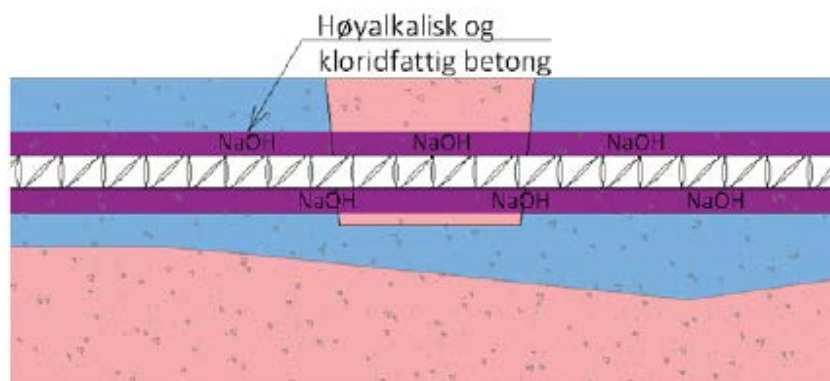
Figur 90 er illustrasjon av kloridinntrenging og elektrokjemisk kloriduttrekk



Figur 53 illustrasjon av kloridinntrenging og elektrokjemisk kloriduttrekk [40]

Figur 91 viser illustrasjon av armert betong etter utført elektrokjemisk kloriduttrekk. Strømmen som passerer mellom anoden og armeringen forårsaker elektrolyse, som spalter vannet i syre og base. Det dannes derfor en høyalkalisk sone rundt armeringsstålet, hvor pH-

verdien kan komme opp mot 16. Under disse høyalcaliske og kloridfattige forholdene passiveres armeringsstålet. Behandlingen tar normalt 4 til 6 uker, og sjelden mer enn 10 uker. [40]



Figur 54 illustrasjon av betong etter elektrokjemisk kloriduttrekk [40]

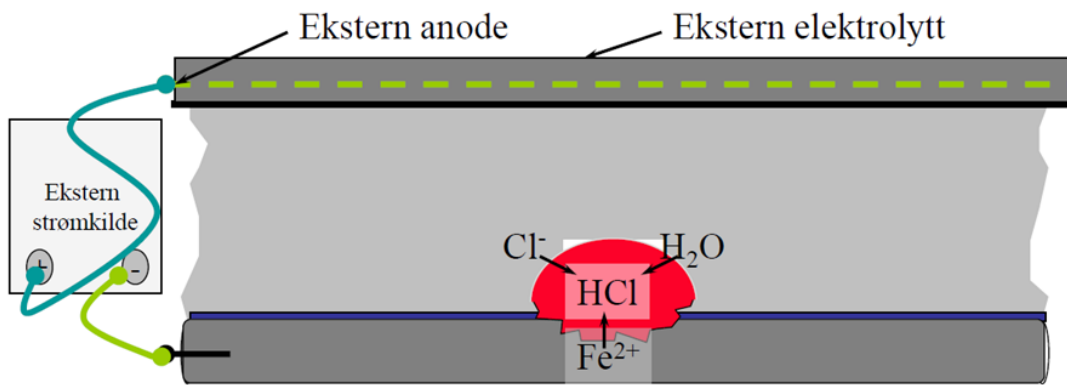
8.3 Katodisk beskyttelse

Katodisk beskyttelse er en metode som stopper eller bremser korrosjon på armerte konstruksjoner. Metoden baseres på at materialet (stålarmring) som beskyttes tilføres en ytre strøm, slik at materialets potensialet forskyves til en nivå at korrosjon ikke lenger utgjør en trussel for konstruksjonen. Med andre ord, stålarmring gjøres om til en katode i en elektrokjemisk celle, derav ordet katodisk beskyttelse. [40]

Ifølge Jan-Magnus Østvik fra Statens vegvesen [33] ved å bruke katodisk beskyttelse kan man forlenge levetiden til en konstruksjon eller konstruksjonsdel som er infisert av klorider. Katodisk beskyttelse kan brukes på konstruksjoner med stor kloridinntrenging og over større områder med armeringskorrosjon. Katodisk beskyttelse ofte er det eneste økonomisk forsvarlig måten å reparere kloridinfisert armert betongkonstruksjon, uten massiv fjerning av den infiserte betongen.

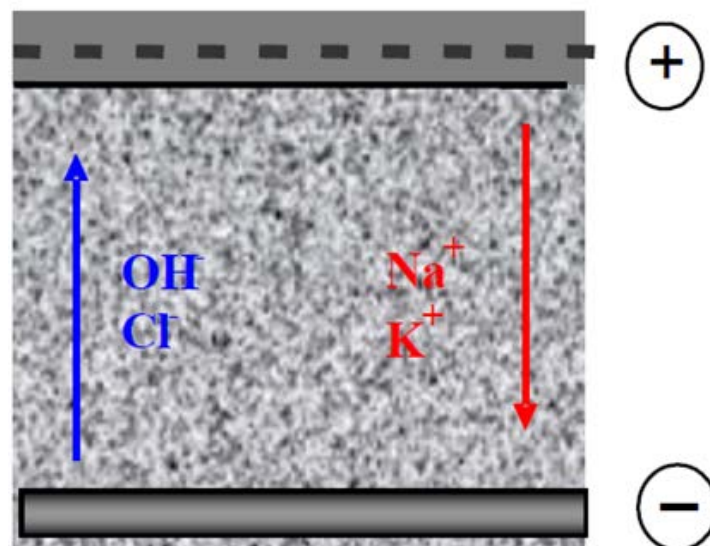
Som tidligere nevnt, klorider og karbonatisering, bryter ned passivfilmen rundt armering og fører til armeringskorrosjon, ved katodisk beskyttelse og hjelp av en ekstern anode (offeranode), reverseres korrosjon strømmen, og med det, stopper armeringskorrosjon. Som offeranode benyttes mindre edelt metaller enn stål, som for eksempel Al, Mg, Zn.

Videre ifølge Jan-Magnus Østvik ved Statens vegvesen [33] det påtrykkes en likespenning mellom armeringen og en elektrode på betongoverflaten eller inne i betongen. Likespenningen starter elektronmigrasjon.



Figur 55 Elektromigrasjon [33]

Ionene i porevannet er elektrisk ladet og påvirkes av det elektriske feltet. Negative ioner beveger seg fra den negative polen (armeringen) og mot den positive polen (anoden). Positive ioner beveger seg mot den negative polen (armeringen) og fra den positive polen (anoden). [33]



Figur 56 Ionerbevegelser ved KB [33]

Anodenettet (offeranode) må innstøpes i en sementbasert påstøp som må tilfredsstille en del krav og disse er: god heft til konstruksjonsbetongen, god elektrolytisk kontakt mellom anode og armering, god elektrolytisk ledningsevne for å sikre god og jevn strømfordeling, beskytte anodene mot fysiske skader.

Bilde på neste side viser prosessen med infesting av titannett ved katodiskbeskyttelse på Gimsøystraumen bru. På Gimsøystraumen bru ble det valgt titannett. [33]



Figur 57 Titannett på Gimsøystraumenbrua [33]

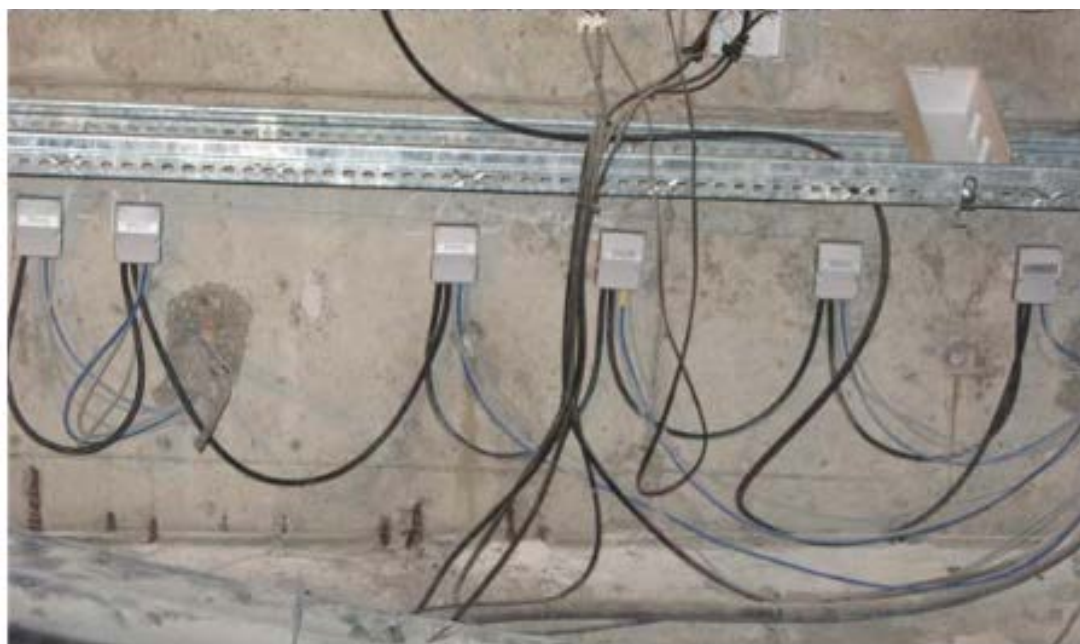
Titannett har god bestandighet mot mekaniske skader, jevn strømfordeling, lang levetid, tåler spenninger opp mot 10 Volt, det er systemet man har lengst driftserfaring med, maksimal strømleveranse ligger på ca. 30 mA/m² betongoverflate. Ulempe er at det kreves stor antall plastplugger for å presse nettet tett inntil overflaten, og kan gi vektøkning på konstruksjonen. [33]

Figur 95 viser bilde med betongsprøyting på nettingen som er installert som en del av den katodiske beskyttelsen. Entreprenør er Visinor. (Foto: Tomas Rolland)



Figur 58 Betongsprøyting på nettingen (Foto: Tomas Rolland)

Ved katodisk beskyttelse monteres elektriskstyringssystem som forsyner konstruksjon med el strøm. Systemet må holdes i drift og kontrolleres.



Figur 59 Elektriske installasjoner ved KB [33]

8.3.1 Noen av erfaringer med KB-anlegg i Statens vegvesen

Erfaringer i forbindelse med katodisk beskyttelse i Statens vegvesen er mange og noen av dem er følgende [49]

Mangel på tilstandsrapport

Ved prosjektering av KB er en god tilstandsrapport helt nødvendig. Tilstandsrapport bør inneholde opplysninger om tidligere reparasjoner, overflatebehandlinger, korrosjonsbeskyttelse på armering og reparasjonsmørtel som eventuelt var brukt og som kan hindre strømgjennomgang. Tilstandsrapport til betong som ikke er synlig, kloridprofil, overdekning og karbonatiseringsdybde er også noen av viktige opplysninger.

Armeringstegninger er alltid viktige ved KB, men spesielt viktige er hvis det er mangel på armeringskontinuitet. Armering i soner som skal beskyttes må være i kontinuitet.

Heftsvikt

Heftsvikt mellom forskjellige materialer kan ofte ses ved KB, og derfor må det være god samspill mellom materialer. Gammel betong, plastplugg, metal (offeranode), mørtel, og sprøytemørtel alt må velges nøye. Som tidligere vist i oppgavens kapittel 7, standard NS-EN1504 setter en krav til mørtel brukt ved KB.

Spennarmering

Dersom det er spennarmering i konstruksjonen, kan det være fare for at hydrogensprøhet.

Kompetanse

Katodisk beskyttelse er en kjede av viktige arbeidsoperasjoner hvor alle må bli vellykket for å oppnå suksess.

Katodisk beskyttelse er ofte robuste løsninger hvor KB-prosjekter krever betydelig praktisk erfaring.

Krav til kompetanse følger av NS-EN 1504-9, og dokumenteres ved kompetansebevis fra Betongopplæringsrådet. [37]

Driftsproblemer

Svikt i elektronikk kan skje pga. forskjellige årsaker, noen av dem er lynnedslag, hærverk, lekkasjer, strømbrudd. Drift av anlegget etter overtakelse må beskrives. Opsjon for forlengelse av driftsavtalen bør vurderes.

Dokumentasjon

For dårlig dokumentasjon i planlegging og prosjektering, dårlig dokumentasjon på oppfølging, kontroll, etterkontroll, og vedlikehold

Prosjektstyring og prosjektorganisasjon

Store og kompliserte prosjekter kan ta flere år å organisere, omorganisere og gjennomføre. Ofte nøkkelpersoner får andre arbeidsoppgaver eller slutter.

Viktige stikkord ved katodisk beskyttelse er: offeranoder, titan nett, Al, Mg, Zn, strøm, sprøytebetong, innborede anoder, elektrisk ledende belegg, elektrisk ledende belegg.

Sjekkliste for prosjekterende av KB

For å bedre kvalitet ved prosjektering av katodisk beskyttelse, har «Faggruppe for katodisk beskyttelse av betong» (FKBB) som er underlagt Norsk forening for Betongrehabilitering (NFB) og som er en faggruppe med fokus på å ivareta medlemmenes Interesser innenfor fagområdet, utviklet en sjekkliste for prosjekterende, og med det også av betydning for utførende ved KB.

<http://betongrehabilitering.net/wp-content/uploads/2017/02/Sjekkliste-for-prosjekterende-av-katodisk-beskyttelse.pdf>,

I følge FKBB, sjekklisten er tatt utgangspunkt i krav i NS-EN ISO 12696, SVV Prosesskode 2, og det er en rekke krav som kommer i tillegg. Ved spørsmål eller kommentarer kan tas kontakt med FKBB på epost post@katodiskbetong.no.

Kapitel 9 Diskusjon og svar på forskningsspørsmål.

I diskusjonsdelen skal jeg diskutere og svare på og diskutere forskningsspørsmål som er presentert i kapitel 1.

Oppgaven fokuserer i utgangspunkt på metoder for reparasjon av betong. Oppgaven i sine teoretiske deler beskriver mer detaljert materialer, skader, nedbrytningsmekanismer, krav, prinsipper, systemer, og reparasjonsmetoder anvendt i Statens vegvesen. Reparasjonsmetoder som er bearbeidet er mekanisk reparasjon, elektrokjemiske reparasjon og overflatebehandling. Diskusjonsdelen kommer til å inneholde noe av kvalitetskrav, gjeldendestandarder, fordeler, ulemper og begrunnelser for valg av metode.

9.1 Hvordan Statens vegvesen kartlegger skader, vurderer tilstand på betongkonstruksjoner og velger reparasjonsmetode?

Statens vegvesen har i mange år samarbeidet med myndighetene, offentlige etater, direktorater, universiteter, høyskoler og private, og utviklet komplett system som ivaretar samfunnets interesser med tanke på inspeksjoner, vurdering av tilstand, planlegging, prosjektering, bygging, drift, vedlikehold og reparasjon av betongkonstruksjoner.

Statens vegvesen får opplysninger om tilstand på betongkonstruksjoner fra flere kilder. Noe av dem fås gjennom daglig drift og vedlikehold, og noe mottatt av publikum som trafikanter, eller lokalbefolkning. Den viktigste informasjonskilde er konstruksjonsinspeksjoner som utføres av fagfolk i Statens vegvesen eller av private kvalifiserte konsultantselskaper, som har vunnet anbud og signert kontrakt med Statens vegvesen for utførelse av inspeksjoner.

Som beskrevet i oppgavens kapitel 5, er det håndbok 147, «Forvaltning, drift og vedlikehold av bruer», som gir generelle bestemmelser om når og hvordan bruinspeksjoner skal gjennomføres, mens håndbok V441, «Inspeksjonshåndbok for bruer», er veiledning om hvordan inspeksjoner skal gjennomføres.

Hovedmål med bruinspeksjoner er at inspeksjonsundersøkelser skal vise:

- Om konstruksjon oppfyller funksjonskrav og krav i NS og HB.
- Undersøke vedlikeholds og reparasjonsbehov
- Avklare årsaker til skader
- Skadeomfang
- Gi grunnlag for reparasjonsbeskrivelse og kostnadsestimering

Inspeksjonsdata lagres digitalt i BRUTUS, som er Statens vegvesens informasjons og planleggingsverktøy for forvaltning, drift og vedlikehold av bruer og andre byggverk i vegnettet.

Ut fra samlede data og generell oppfatning av tilstand på konstruksjon, utarbeides vedlikeholds strategier.

Som vist i kapitel 6, vedlikeholdsstrategier utarbeides for å finne den beste samfunnsøkonomiske måten å vedlikeholde objekter på over et visst antall år. Dette må skje

innfor gitte budsjetter. Formålet er å øke levetid av konstruksjoner, bevare god tilstand, funksjon, beholde bæreevne, geometri, estetikk, samt unngå miljøskade.

Vurdering av reparasjonsmetode avhenger av flere faktorer. De to viktigste faktorene til vurdering er bæreevne og trafiksikkerhet.

Ved vurdering av ulike mulige strategier og tilhørende konsekvenser må ulike forhold undersøkes, f.eks. utførelseskostnader, vedlikeholdskostnader og eventuelle behov for å innføre bruksbegrensninger for konstruksjonen. Flere metoder for beskyttelse og reparasjon kan kombineres

Opgavens kapitler 6 og 7 viser prinsipper og metoder basert på NS-EN1504 og Prosesskode 2, for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner som anvendes i Statens vegvesen.

Prinsippene i NS EN 1504 er delt i to grupper og disse er:

- Prinsipper og metoder ved skadet betong
- Prinsipper og metoder ved armeringskorrosjon

Prinsipper og metoder ved skadet betong er egentlig beskyttelse mot inntrenging, regulering av fuktinnhold, gjenoppbygging av betong, forsterkning av konstruksjonen, økning av fysisk motstand og motstand mot kjemikalier.

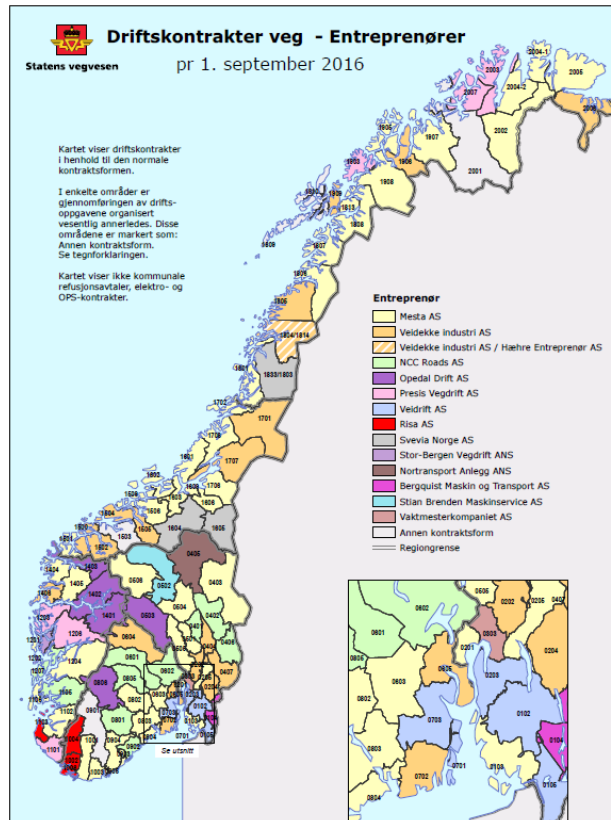
Prinsipper og metoder ved armeringskorrosjon er på en måte gjenoppretting av passivitet. Metode gjelder behandling eller erstatning av betongen som omgir armeringen for å redusere risikoen for korrosjon.

Kriterier for valg av metode er nærmere beskrevet i kapitel 7 og det er en kombinasjon av: tekniske og funksjonelle krav, økonomi, konstruksjonstype, skadeomfang, dimensjon, form, tilgjengelighet, sikkerhet, utstyrsbehov, tilgjengelig kompetanse og til og med politiske beslutninger.

Ulempe ved valg av reparasjonsmetoden er at alle disse kriteriene må vurderes samtidig og at den beste metoden kan ikke alltid velges pga. en eller flere kriteriene som slår til.

9.2 Hva er praksis i Statens vegvesen i forhold til vedlikehold, reparasjon og kontroll av betong?

Statens vegvesen er en stor organisasjon med veldig bredt ansvarsområdet. Som en landsdekkende organisasjon er Statens vegvesen delt i flere regioner. Hver av disse regionene har ansvar for drift, vedlikehold og generell forvaltning av objekter i sitt geografisk område. Driftskontrakter deles ut med tanke på geografisk inndeling for drift og vedlikehold av objekter. Kartet nedenfor viser driftskontrakter veg pr 1. september 2016.



Figur 60 Driftskontrakter veg pr 1. sept 2016 [49]

Prosjektering av betongkonstruksjoner praktiseres både i Statens vegvesens egen prosjekteringsavdeling «Bru og fergekai» eller BOF, og i samarbeid med private selskaper. Vanligvis baseres samarbeid med private prosjekteringsselskaper på inngåtte rammeavtaler mellom Statens vegvesen som oppdragsgiver, og prosjekteringsselskaper som oppdragstaker. For å inngå rammeavtale med Statens vegvesen må interesserte prosjekteringsselskaper bevise sin kompetanse og erfaring i fagområdet, og på denne måten vise frem at de er i stand å gjennomføre både enkle, kompliserte og teknisk krevende oppgaver.

Konkurransesgrunnlag med beskrivelse av bestemte oppgaver og alle formelle krav blir utlyst av Statens vegvesen på «Doffin», og prosjekteringsselskaper kan levere sine tilbud i samsvar med Statens vegvesens beskrivelser og krav. Kun kvalifiserte prosjekteringsselskaper blir vurdert av Statens vegvesen, og til den eller de aktuelle, blir tildelt rammeavtale som vanligvis varer i 5 år.

Til aktuelle selskaper eller entreprenører som utfører arbeid på vegne av Statens vegvesen, stilles det også krav til kompetanse og erfaring til utføre varierte oppgaver i forhold til betongreparasjoner. Entreprenører må også bevise at de disponerer kvalifisert arbeidskraft og at de har godt utarbeidet interne rutiner med tanke på HMS (helse, miljø og sikkerhet) og kvalitet. God økonomi og ryddige interne arbeidsforhold og rutiner er absolutt nødvendige for tildeling av fagkontrakter.

Etter at konstruksjonen er inspisert og tilstanden vurdert begynner reparasjonsplanlegging. Ved vurdering av ulike strategier og tilhørende konsekvenser, undersøkes ulike forhold som f.eks. utførelseskostnader, vedlikeholdskostnader og eventuelle behov for å innføre bruksbegrensninger for konstruksjonen.

Flere metoder for betongbeskyttelse og betongreparasjon kan kombineres. Mulige ugunstige effekter av de valgte metodene og konsekvensene av samvirke mellom dem må vurderes. Prinsipper og metoder for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner som anvendes i Statens vegvesen er som tidligere sagt, basert på NS EN 1504 og Prosesskoden 2.

Hvor finnes nødvendig faglitteratur og dokumentasjon om konstruksjon?

For å utføre betongreparasjoner i henhold til rutiner som praktiseres i Statens vegvesen, må en ha god oversikt over gjeldende krav, regler, standarder, håndbøker, og prosesskoder. I tillegg til teoretiske, material- og kontraktmessig kunnskap, økonomi og juridisk forståelse er en stor fordel. Nødvendig dokumentasjon er spredt på mange plasser, og er ganske omfattende.

For en prosjektleder, byggeleder og kontrollingeniør, ligger mye av de nødvendig opplysninger i D-kapitel i kontrakten, som i utgangspunktet skrives av rådgivendeingeniører som ofte jobber med prosjektering av betongreparasjoner og er godt kjent med faglitteratur og krav som er beskrevet i standarder, håndbøker og prosesskoder. Men det er ikke alltid at det på forhånd er godt prosjektert og godt beskrevet. Noen gang krever situasjon øyeblikkelig reaksjon, raske endringer av kontrakt eller beskrivelse. Det finnes ikke tid for venting, beslutning må tas der og da rett på stedet. Da er det nødvendig å ha bred erfaring og gode kunnskaper om materialer, mekanismer, prinsipper, systemer, regler og krav.

God utgangspunkt for å samle dokumentasjon og nødvendige opplysninger, i tillegg til D-kapitlet, som forresten finnes i prosjektkontrakt, er håndbøker, Prosesskoder 1 og 2, og selvsagt NS EN1504, av størst hjelp.

Som beskrevet i oppgavens kapitel 5, er opplysninger om konstruksjoner mulig å finne i BRUTUS (Bru-tunnel), som er Statens vegvesens informasjons og planleggingsverktøy for forvaltning, drift og vedlikehold av bruer og andre byggverk i vegnettet.

Mye av data med tanke på konstruksjons historikk per dags dato ligger i BRUTUS som er tilgjengelig til et visst antall personer. En liten del av ansatte i Statens vegvesen kan forsyne seg av informasjonen i databasen og kan legge inn nye opplysninger.

De fleste av ansatte i Statens vegvesen har ikke full tilgang til databasen BRUTUS. Tilgangstillatelse må søkes av seksjonsledere og dataansvarlige.

Systemet BRUTUS er inndelt i fire ulike moduler, byggverk, inspeksjon, vedlikehold og kostnad. I BRUTUS er det mulig å finne generelle opplysninger om konstruksjon, konstruksjonsdeler, tidligere utførte inspeksjoner og det som var observert. Det er også mulig å finne noe om tidligere utførte reparasjoner og eventuell kommende vedlikeholdsbehov. Noen gang er det opplyst kostnader på utførte reparasjoner, og eventuelle økonomiske behov for framtidige utbedringer.

Begrensinger med BRUTUS er redusert tilgang og at databasen ikke alltid er oppdatert. God kunnskap om materialer, konstruksjoner, nedbrytningsmekanismer, reparasjonsmetoder og systemer er nødvendig for å forstå konstruksjonsbeskrivelser og fagspråk brukt i BRUTUS generelt.

9.3 Hvilken standarder, håndbøker og krav må vi følge ved betongreparasjoner?

Som allerede beskrevet i oppgavens Del 7, hovedstandard for betongreparasjoner som praktiseres i Statens vegvesen er NS-EN 1504, som er delt i 10 deler, og beskriver krav til produkter, prinsipper og metoder for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner. Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar er beskrevet i standarden. NS-EN 1504 Del (1-10) er gjeldende i Norge fra 1. januar 2009.

Ved siden av NS-EN1504 Del (1-10) som er hovedstandard, har vi såkalte spesielle standarder, og disse er:

NS-EN 12696, CET/TS 14038-1, NS-EN 14487 del 1 og 2.

NS-EN 12696, Katodisk beskyttelse.

CEN/TS 14038-1, Elektrokjemisk realkalisering

NS-EN 14487 Del 1 og 2, Sprøytebetong.

Spesielle standarder beskriver betongreparasjoner som anvendes ikke så ofte, og som krever noe spesielle kunnskaper. Arbeidsoperasjoner som katodisk beskyttelse, elektrokjemisk realkalisering, og arbeid med sprøytebetong, er beskrevet i de spesielle standardene.

I tillegg til standarder er det flere håndbøker som er viktig og som vi må forholde oss til. Disse er:

- Håndbok 147, Forvaltning, drift og vedlikehold av bruer, gir generelle bestemmelser om når og hvordan bruinspeksjoner skal gjennomføres.
- Håndbok V441, Inspeksjonshåndbok for bruer, er veiledning om hvordan inspeksjoner skal gjennomføres.
- Håndbok R762 Prosesskode 2, Standard beskrivelsestekster for bruer og kaier, hovedprosess 8. Dette er en håndbok i Statens vegvesens håndbokserie, og en samling av publikasjoner som først og fremst er beregnet for bruk innen etaten. Vegdirektoratet har hovedansvaret for utarbeidelse og ajourføring av håndbøkene i Statens vegvesen.

Standardene er oppdatert og tilpasset i forhold til EU standarder. Norske standarder er nå veldig like EU standarder med noe få unntak som er karakteristiske for Norge pga. klimaforholdene og miljø.

9.4 Hvilken skader på betong er mest utbredt og mest kostbare?

I oppgavens materialdelen (kapitel 3) nevnes det at betong på lik linje med alle andre bygningsmaterialer er utsatt for aldring, skader, belastning, slitasje, og dermed krever vedlikehold og reparasjon.

Nedbrytningsprosesser er nærmere beskrevet i oppgavens teoridelen kapitel 4 og viser at hovedproblemet for bestandigheten av betongkonstruksjoner er kloridinitiert

armeringskorrosjon. De neste to viktigste skadeårsaker som oppstår på betong er karbonatiseringsinitiert armeringskorrosjon og alkalireaksjoner.

I NS-EN1504-9, deles de vanlige årsakene til nedbrytning av betong i to grupper. Disse er skader på betong (defekt betong), og skader forårsaket av armeringskorrosjon.

Skader på betong er delt i mekaniske, kjemiske og fysiske skader, og eventuelt brannskader. Armeringskorrosjon i betong er delt i korrosjon pga. karbonatisering, og korrosjon pga. fremmede påvirkninger som for eksempel klorider fra vegsalt, sjøvann eller andre forurensninger.

I standarden nevnes også lekkstrøm som en mulig armeringskorrosjonsårsak, og som er egentlig strøm som går direkte til jord, altså jordfeil. Den kan måles med en lekkasjestrømtang. Denne brukes ved å klype rundt alle fasene utenom jord, men denne masteroppgraden bearbeider ikke lekkstrømproblematikk.

Betongkonstruksjoner er som regel godt prosjekterte og dimensjonerte, og tåler godt lastbelastninger. Hvis grunnforholdene er riktige er betongkonstruksjoner i stand til å stå stødige i flere hundre år uten stort behov for vedlikehold. Den største svakheten i armert betong er nettopp armering grunnet evne til å korrodere.

Dette er også mest kostbart å reparere. Reparasjon er ofte både omfattende, arbeidskrevende, tidskrevende og kostbart. Spesielt kostbart kan være reparasjoner under vann og reparasjoner i stor høyde. Slike tiltak krever nøyaktige forberedelser, undersøkelser, prosjektering, og god planlegging, ikke minst med tanke på arbeidssikkerhet og HMS.

Typiske fordeler, ulemper og begrunnelser for valg av metoder

I oppgavens kapittel 6, 7 og 8 er det en detaljert oversikt over prinsipper, metoder og krav om kvalitet på både materialer, utførelse og geometriske toleranser, til arbeidsoppgaver knyttet til reparasjon av betongkonstruksjoner som anvendes i Statens vegvesen. Det er også vist noe av arbeidsprosesser sammen med sine fordeler og ulemper.

Som tidligere nevnt, prinsipper og metoder for betongreparasjoner anvendt i Statens vegvesen er basert på standard NS EN1504, spesiellstandarder og Prosesskode 2. Disse er delt i prinsipper og metoder ved skadet (defekt) betong, og ved armeringskorrosjon.

For å unngå gjentagelse av informasjon gitt i oppgavens teoridelen vises utvalgte metoder med sine fordeler, ulemper og begrunnelse for valg av metode i et tabell.

Prinsipper og metoder ved skadet betong delt i metode. [50]

1. Beskyttelse mot inntrenging (prinsipp)

Metode:	Fordeler	Ulemper	Begrunnelse for valg av metode
Impregnering	<p>Impregneringsstoffene trenger inn i betongen og gjør poreveggene vannavstøtende.</p> <p>Liten vektøkning og pent utseende.</p> <p>Hindrer inntrenging av aggressiver men holder konstruksjon ikke helt tett.</p>	<p>Inntrengingsdybden er avhengig av: betongens porøsitet.</p> <p>Vanninnhold i betong og kontakttid påvirker resultat.</p> <p>Ikke UV-bestandige.</p> <p>Hindret ikke helt inntrenging av aggressiver.</p>	<p>Betongkonstruksjoner hvor poreveggene ønskes vannavstøtende, men ikke helt vanntette.</p> <p>Hvor armering kan være utsatt for korrosjon.</p> <p>Redusere vanninntrenging for å hindre alkalireaksjoner eller korrosjonsprosesser.</p>
Belegg	<p>Beskytter betongen mot inntrenging av aggressiver som klorider, CO₂, væsker og eller vann.</p> <p>Liten vektøkning og pent utseende.</p> <p>Porene er godt fylt.</p> <p>Pent utseende.</p>	<p>For å oppnå god resultat temperatur og gode klimatiske forhold må være til stede.</p> <p>I driftsfasen vil høy fuktbelastning kunne påvirke levetiden.</p> <p>Høyt vanninnhold i betongen kan forårsake frøstskader. Kan hindre konstruksjonsuttørking.</p>	<p>Hvor det ønskes beskyttelse mot inntrenging av klorider, kjemikalier, vann og CO₂.</p> <p>Kontrollerer fuktighet for å hindre alkalireaksjoner.</p> <p>Pent utseende.</p>
Forsegling av riss	<p>Rissene og sprekke utbedres på det tidspunkt rissvidden er størst.</p> <p>Hindrer aggressiver og vanninntrenging.</p> <p>Hindrer frøstskader.</p> <p>Kan bremse eller stoppe alkalireaksjoner.</p>	<p>Før materialet påføres over risset, må alle rissene godt rengjøres for løse partikler og forurensinger med trykkluft eller andre rengjørings metoder.</p> <p>Fuktighet og temperatur i underlaget må være i henhold til standardkravene. Se oppgavens del 7 tabell 88.241-1 og 2.</p> <p>Dersom sprekken er gjennomgående må den sparkles på undersiden, for å hindre at massen renner tvers igjennom dekket.</p> <p>Forseglingsmassen kan enten være sement eller epoksybasert.</p> <p>Materialkravene, se kapitel 7, tabell 88.243-1.</p>	<p>Betongkonstruksjoner med riss og småsprekk.</p> <p>Hvor armering kan være utsatt for korrosjon.</p> <p>Redusere vanninntrenging for å hindre alkalireaksjoner eller korrosjonsprosesser.</p>
Gjenfylling	<p>Pensling eller fylling av tørre riss/sprekker ved gravitasjonsinjisering på horisontale flater er enkel og billig metode.</p>	<p>Krever prøving og kontroll av underlaget som er vist i prosesskode 2. Tabell 88.241-1.</p> <p>Riss større enn 3 mm krever et tiksotropisk injiseringsmateriale for at</p>	<p>Benyttes til å fylle og tette riss i dekker, fundamenter og generelt horisontale betongkonstruksjoner.</p> <p>Hvor armering kan være utsatt for korrosjon.</p>

	<p>Høy styrke oppnås etter få timer ved over +10 °C, full herding etter 7 døgn.</p> <p>Rissene og sprekke utbedres på det tidspunkt rissvidden er størst.</p>	<p>materialet skal forbli i risset.</p> <p>Materialene skal være lettflytende og tilfredsstillende kravene angitt under prosess 88.243.</p> <p>Prøving og kontroll etter herding utføres i henhold til tabell 88.241-3.</p> <p>Overflødig masse må fjernes etter avsluttet behandling.</p>	<p>Redusere vanninntrenging for å hindre alkalireaksjoner eller korrosjonsprosesser.</p>
Innkledning	<p>Reduserer intern relativ fuktighet av betongen, på samme måte som belegg eller impregneringer. [41]</p> <p>Kledning er generelt sett, et fysisk belegg av en konstruksjon eller et element som vil endre estetisk inntrykket av konstruksjonen det brukes til, uten å legge til noen styrke eller stabilitet. [41]</p>	<p>Krever god vanddrenering eller konstruksjon må ha fall at vann kan renne bort.</p> <p>Endrer estetisk inntrykket av konstruksjonen.</p> <p>Montering kan kreve flere aktiviteter og prosesser.</p> <p>Materialene må godt kjennes.</p>	<p>Kan brukes på spesielt væreutsatt konstruksjoner eller hvor det ønskes en annen utseende.</p> <p>Andre overflatebehandlinger er vurdert som ikke relevante, praktiske, funksjonelle eller økonomisk forsvarlige.</p>
Membraner	<p>Hindrer vann inntrenging og holder konstruksjon tørr.</p> <p>Høy kjemikaliebestandighet og slitasjestyrke.</p> <p>Kan sprøytes som reaktivmembrane, eller håndmonteres.</p> <p>Kan påføres under betongfundamentet ved å påføre membran på en spesiell fiberduk før det armerte betongfundamentet utstøpes.</p> <p>Kan brukes som tilleggsbeskyttelse av betongkonstruksjoner.</p>	<p>Kan være dyrere enn belegg eller impregnering.</p> <p>Kan kreve støpe skjøtter.</p> <p>Kan hindre konstruksjonsuttørking.</p> <p>Kan kreves spesialutstyr ved montering som for eksempel ved «membransveising», eller ved innfesting.</p>	<p>Vanligvis utvendig på miljøkulverter hvor betong ønskes å holdes helt tørr.</p> <p>Kan brukes på tunnelportaler, parkeringshus underbaken, boligbygg, industrianlegg og åpne skjæringer.</p> <p>Kan påføres under betongfundamentet ved å påføre membran på en spesiell fiberduk før det armerte betongfundamentet utstøpes.</p> <p>Kan brukes som tilleggsbeskyttelse av betongkonstruksjoner.</p>

2. Regulering av fuktinnhold

Metode:	Fordeler	Ulemper	Begrunnelse for valg av metode
Hydrofobierende impregnering	<p>Vannavstøtende men konstruksjon kan lett «puste».</p> <p>Kan unngås frøstskader.</p>	<p>Stopper ikke helt vanninntrenging og inntrenging av kjemikalier.</p>	<p>Hvor det ønskes bruk av vannavstøtende materialer, men at konstruksjon likevel kan puste og tørkes.</p>

	Porene er ikke helt fylt.	Vannavisende effekt svekkes med tid. Krever forbehandling. Materialkravene i forhold til standarder.	Porene ønskes ikke helt fylt. Ønskes gjennomiktig overflatebehandling.
Impregnering	Impregneringsstoffene trenger inn i betongen og gjør poreveggene vannavstøtende. Porene er ikke helt fylt. Liten vektøkning og pent utseende.	Inntrengingsdybden er avhengig av betongens porøsitet, vanninnhold og kontakttid. Ikke UV-bestandige. Krav til ruhet Værekrav og kunnskap om materialvalg.	Betongkonstruksjoner hvor poreveggene ønskes vannavstøtende, men ikke helt vanntette. Pent utseende
Belegg	Belegg beskytter betongen mot inntrenging av aggressiver som klorider, CO ₂ , væsker og eller vann. Liten vektøkning og pent utseende. Kan bremse eller stoppe alkalireaksjoner og korrosjonsprosesser.	Porene er nesten helt eller helt fylt. Kan holde vann og væsker inne i konstruksjon. Kan forårsake frøtskader. Kan hindre uttørking	Hvor det ønskes beskyttelse mot inntrenging av klorider, kjemikalier, vann og CO ₂ . Kontrollere fuktighet for å hindre alkalireaksjoner eller korrosjonsprosesser. Ønskes overflaten til å se pent ut eller annerledes.
Elektrokjemisk behandling	Forlenger levetid av betong. Krever ikke erstatning av infisert betong. Øker pH-verdien i betongen. Beskytter armering. Realkalisert betong lar seg påvise ved hjelp av fenoltaleinløsning. Flere metoder å velge	Krever kompetanse. Kabler kobles til elektrodenettet. Må vedlikeholdes. Strøm/spenning må kontrolleres og eventuelt justeres med jevne mellomrom under hele prosessen. Kan en del infisert betong likevel bli dypere inn i konstruksjon bak armering, se kapittel 8.	Brukes på betong som er infisert med aggressiver, klorid, CO ₂ , men ønskes ikke erstattes eller kan ikke erstattes med ny betong. Store og massive konstruksjoner eller konstruksjoner av stor betydning eller verdi.

3. Gjenoppbygging av betong

Metode:	Fordeler	Ulemper	Begrunnelse for valg av metode
Håndmørtling	Effektiv og billig. Lett å forme og tilpasse form. Godt kjent metode.	Flytende eller delvis flyttende. Krever vann, herdingtid, tåler ikke spesielt godt flikkingsarbeid i veldig kaldt vær. Kan kreve herdetiltak. Lett å ikke treffe på samme farge.	Mest brukt metode. Billig og effektiv. Krever ikke mye kompetanse.
Støping med betong	Billig og effektiv, spesielt ved større konstruksjoner. Lett å forme, og lett å transportere.	Kan kreve forskaling Utfordring for arbeid i høyde. Kan kreve stillaser.	Billig og veldig effektivt ved bruk på flest konstruksjoner. Godt kjent metode.

	Veldig effektiv på dekker.	Uherdet betong kan fryse i kaldt været. Kan kreve herdetiltak.	
Betongsprøyting	Krever ikke forskaling. Godt kjent metode. Festes godt på mange typer overflater.	Ofte gjøres i flere etapper. Armering kan være hindring at mørtelen kommer helt bak armering.	Effektivt og billig måte å mørtle på store overflater. Veldig effektivt i tunell, skråninger og ved bruk av elektrokjemiske reparasjonsmetoder som for eksempel KB. Se kapittel 8.
Utskifting av elementer	Nye elementer kan ha lengre levetid.	Arbeidskrevende og veldig ofte kostbare. Ofte krever nøye prosjektering. Transport og krankapasitet kan være kompliserte oppgaver.	Når ingen av alle andre kjente metoder kan hjelpe, utskifting av elementer kan være løsning. Hvis ferdige elementer er lett tilgjengelige, kan være tidsbesparende.

4. Forsterkning av konstruksjon

Metode:	Fordeler	Ulemper	Begrunnelse for valg av metode
Suplering av armering	Øker konstruksjonskapasitet og bæreevne. Relativt billig material og godt kjent metode	Material og arbeid kan være kostbare. Kan kreve god kjennskap til konstruksjon. Kan kreve prosjektering.	Når armering i konstruksjon er redusert og konstruksjon må forsterkes, kan supplering av armering å være den eneste logiske løsningen.
Utskifting av armering	Godt kjent metode. Ny armering uten tverrsnittreduksjon har større kapasitet enn korrodert armering. Muligens dagen stål er et bedre material enn den gamle.	Konstruksjon må være godt kjent. Kompliserte oppgaver kan kreve kompetanse ved prosjektering og utførelse. Kan være kostbar.	Hvis konstruksjon må forsterkes, utskifting av armering kan være den eneste gode løsningen.
Boring og gysing av armering	Billig og effektivt. Godt kjent metode. Stort valg av utstyr på marked. Krever ikke noe spesielle kompetanse for utførende, bortsett fra kunnskap om materialer.	Boring kan svekke gammel konstruksjon. Kan kreve prosjektering. Kan skade armering. Hvis borehullene er ikke tettet, kan vann og agressiver renne inn i betongen.	Veldig effektiv og billig metode hvor man ønsker å øke eller bevare konstruksjonskapasitet.
Poståpning med mørtel eller betong	Billig og effektiv, spesielt ved større konstruksjoner. Lett å forme og lett å transportere.	Kan kreve forskaling og ofte stillaser ved utfordring av arbeid i høyde.	Brukes på de fleste betongkonstruksjoner. Hvor det ønskes billig, effektiv og kjent metode.

	Godt kjent og utprøvd metode.	Uherdet betong kan fryse i kaldt været. Mørtling kan kreve mørtling i flere etapper. Materialkravene er beskrevet i standarder. Se kapitel 7. Valg av mørtel kan påvirke resultat ved elektrokjemiske metoder.	Krever ikke mye av kompetanse. Veldig effektivt ved bruk på massive konstruksjoner.
Injisering av riss	Effektivt ved tetting av betong og riss/ sprekker på betongkonstruksjoner og i fjell. Flere materialer å velge.	Misfarging kan skje. Stilles krav til både temperatur i betongen, fuktighet, renhet, behandling og injiseringsmaterialer. Materialer kan ha forskjellig e-moduler. Konstruksjon utsettes for spenning ved injisering.	Ved riss og sprekker i betongkonstruksjoner og i fjell. Ved lekkasjer. Hindre vanninntrenging i riss og sprekker for å hindre korrosjonsskader.
Gjennfylling av riss	Billig og effektivt ved sprekker eller riss på gulv. Rissene/sprekkene utbedres på det tidspunkt rissvidden er størst.	Fyllingsmassen må være flyttende og må ha riktig duktilitet for å fylle opp riss eller sprekker. Betongoverflaten langs risset/sprekken må forbehandles i angitt bredde før forsegling. Værekrav, luftfuktighet, betongfuktighet, vind, temperatur. Overflødig masse må fjernes etter avsluttet behandling.	Ved riss og sprekker er dette billig og effektiv metode. Kan brukes på gulv og sparkles på vegg. Rissene/sprekkene utbedres på det tidspunkt rissvidden er størst.
Forspenning eller etter spenning	Øker kapasitet i konstruksjon. Konstruksjon kan være slankere enn ved slakkarmering.	Krever kompetanse både ved prosjektering og utføring. Herdingsprosess må være ferdig for å starte etterspenningsarbeid. Alkalier kan være problem.	Kjent metode som brukes hvor av forskjellige årsaker kreves at konstruksjon blir slank men med stor kapasitet. Kan brukes som tilleggskapasitet eller hindre nedbøyning.

5. Økning av fysisk motstand

Metode:	Fordeler	Ulemper	Begrunnelse for valg av metode
Belegg	Beskytter betongen mot inntrenging av aggressiver som klorider, CO ₂ , væsker og vann. Liten vektøkning og pent utseende.	For å oppnå god resultat temperatur og gode klimatiske forhold må være til stede.	Hvor det ønskes beskyttelse mot inntrenging av klorider, kjemikalier, vann og CO ₂ . Kontrollere fuktighet for å hindre alkalireaksjoner.

		I driftsfasen vil høy fuktbelastning kunne påvirke levetiden. Ved høyt vanninnhold inne i betongen kan forårsake frøstskader.	Ønskes overflaten relativt eller godt vanntett eller kanskje pent.
Impregnering	Impregneringsstoffene trenger inn i betongen og gjør poreveggene vannavstøtende. Porene er ikke helt fylt.	Inntrengingsdybden er avhengig av porøsitet, vanninnhold og kontakttid. Ikke UV-bestandig. Værekrav, temperatur, luftfuktighet, vind.	Betongkonstruksjoner hvor poreveggene ønskes vannavstøtende, men ikke helt vanntette. Bremse alkalireaksjoner og korrosjonsprosesser. Pent utseende.
Påstøp med mørtel eller betong	Billig og effektiv, spesielt ved større konstruksjoner. Lett å forme, og lett å transportere.	Kan kreve forskaling og ofte stillaser. Utfordring for arbeid i høyde. Uherdet kan fryse i kaldt været. Mørtling kan kreve arbeid i flere etapper.	Billig, effektiv og kjent metode. Krever ikke mye av kompetanse. Veldig effektivt ved bruk på massive konstruksjoner.

6. Økning av motstand mot kjemikalier

Metode:	Fordeler	Ulemper	Begrunnelse for valg av metode
Belegg	Beskytter betongen mot inntrenging av klorider, CO ₂ , aggressiver, væsker og eller vann. Liten vektøkning og pent utseende. Porene er helt fylt og konstruksjon tett.	For å oppnå god resultat temperatur og gode klimatiske forhold må være til stede. I driftsfasen vil høy fuktbelastning kunne påvirke levetiden. Ved høyt vanninnhold inne i betongen kan forårsake frøstskader. Porene er helt fylt opp og konstruksjon er nesten helt tett. Kan forårsake frøstskader.	Beskyttelse mot inntrenging av klorider, kjemikalier, vann og CO ₂ . Brukes hvor det må kontrolleres fuktighet for å hindre alkalireaksjoner eller inntrenging av aggressiver.
Impregnering	Impregneringsstoffene trenger inn i betongen og gjør poreveggene vannavstøtende. Porene er ikke helt fylt.	Værekrav, luftfuktighet, betongfuktighet, vind, temperatur. Overflødig masse må fjernes etter avsluttet behandling. Inntrengingsdybden er avhengig av porøsitet, vanninnhold og kontakttid. Ikke UV-bestandige.	Betongkonstruksjoner hvor poreveggene ønskes vannavstøtende, men ikke helt vanntette.
Påstøping med mørtel eller betong	Billig og effektiv, spesielt ved større konstruksjoner.	Kan kreve forskaling og ofte stillaser.	Billig, effektiv og kjent metode.

	<p>Lett å forme, og lett å transportere.</p>	<p>Kan være dårlig heft mellom gammel og ny betong. Utfordring for arbeid i høyde. Uherdet betong eller mørtel kan fryse i kaldt været. Størrelse på skaden kan kreve mørtling i flere etapper.</p>	<p>Krever ikke mye av kompetanse.</p> <p>Veldig effektivt ved bruk på massive konstruksjoner.</p>
--	--	--	---

Prinsipper og metoder ved armeringskorrosjon, eller prinsipp-metode for gjenoppretting av passivitet. [50]

1. Bevaring eller gjenoppretning av passivitet

Metode:	Fordeler	Ulemper	Begrunnelse for valg av metode
Øking av overdekning med mørtel eller betong	<p>Billig material. Relativt lett gjennomførbart.</p> <p>Effektiv mott inntrengingsstoffer.</p> <p>Krever ikke spesielle kunnskaper</p>	<p>Øker egenvekt på konstruksjon og kan reduserer konstruksjonens lastkapasitet.</p> <p>Forskjell i farge mellom gammel og ny betong</p>	<p>Konstruksjoner med liteoverdekning og konstruksjoner som viser tendens til infisering. Kan være effektiv metode for å hindre videre karbonatisering eller inntrenging av klorider eller inntrenging av andre aggresiver.</p>
Erstatning av infisert eller karbonatisert betong	<p>Fjernes allerede infisert betong. Ny betong har høy pH-verdi og kan beskytte armering. Ny betong kan være av bedre kvalitet og øke lastkapasitet til konstruksjon. Konstriksjon kan få penere utseende.</p>	<p>Krever meisling, og kan svekke konstruksjon.</p> <p>Krever god heft mellom gammel og nye betong.</p> <p>Kan kreve ekstra armering, forskaling, eller annen utstyr.</p>	<p>Hvor ingen annen metode er vurdert som mer effektiv eller mer lønnsom.</p>
Elektrokjemisk realkalisering av karbonatisert betong	<p>Forlenger levetid av betong. Krever ikke erstatning av infisert betong. Øker pH-verdien i betongen. Beskytter armering. Realkalisert betong lar seg påvise ved hjelp av fenolfaleinløsning, som gir rødfiolett utslag for ukarbonatisert/realkalisert betong.</p>	<p>Krever kompetanse. Kabler kobles til elektrodenettet. Strøm/spenning må kontrolleres og eventuelt justeres med jevne mellomrom under hele prosessen. Kan en del infisert beton likevel bli dypere inn i konstruksjon, se kapittel 8.</p>	<p>Brukes på betong som er infisert med CO₂, men ønskes ikke erstatte infisertbetong med nye betongen.</p> <p>Realkalisering er aktuelt for betongflater uten større synlige skader, der armeringen ligger i, eller er i ferd med å komme i karbonatisert betong.</p>

Realkalisering av karbonatisert betong ved diffusjon	Øker pH-verdien i betongen. Relativt billig. Konstruksjon «puster» og kan slippe vann ut.	Bruk av veldig basisk materiale. Ikke effektivt som elektrokjemiske metoder	Hvor er ikke behov for fullt elektrokjemisk realkalisering.
Elektrokjemisk kloriduttrekk	Kloridionene transporteres gjennom betongen og ut i elektrolytten. Elektrolyse på armeringsoverflaten skaper et basisk miljø. Veldig effektivt i begynnelsen.	En kjede av viktige arbeidsoperasjoner hvor alle må bli vellykket for å oppnå suksess. Krever kompetanse. Effekt svekkes med tid. Må kontrolleres.	Kloriduttrekk er aktuelt for betong flater uten større synlige skader, der armeringen ligger i, eller er i ferd med å komme i kloridinfisert betong. Forsvarlig måten å reparere kloridinfisert armert betongkonstruksjon, uten massiv fjerning av den infiserte betongen.

2. Økning av elektrisk motstand

Metode:	Fordeler	Ulemper	Begrunnelse for valg av metode
Hydrofoberende impregnering	Vannavstøtende men konstruksjon kan «puste» fordi porene ikke fylles helt opp. Lite økning i konstruksjonsvekt.	Stopper ikke helt vann og kjemikalier. Vannavisende effekt svekkes med tid.	Vannavstøtende men konstruksjon likevel kan «puste» og unngås eventuelle frøstskader.
Impregnering	Impregneringsstoffene trenger inn i betongen og gjør poreveggene vannavstøtende. Porene blir mer fylt enn ved hydrofoberende impregnering, men ikke helt fylt. Kan ha pen utseende.	Inntrengingsdybden er i stor grad avhengig av betongensporøsitet, vanninnhold og kontakttid. Ikke UV-bestandige. Ikke helt vanntett.	Betongkonstruksjoner hvor poreveggene ønskes vannavstøtende, men ikke helt vanntette.
Belegg	Beskytter betongen mot inntrenging av aggressive som klorider, CO ₂ , væsker og eller vann. Porene er nesten helt fylt. Liten vektøkning og pent utseende.	For å oppnå god resultat temperatur og gode klimatiske forhold må være til stede. I driftsfasen vil høy fuktbelastning kunne påvirke levetiden. Standardiserte materialkravene. Ved høyt vanninnhold inne i betongen kan forårsake frøstskader.	Beskyttelse mot inntrenging av klorider, kjemikalier, vann og CO ₂ . Kontrollere fuktighet for å hindre alkalireaksjoner. Pent utseende.

3. Katodisk regulering

Metode:	Fordeler	Ulemper	Begrunnelse for valg av metode
Begrensing av oksygeninnholdet ved	For at korrosjon kunne skje kreves en relativ fuktighet på minst 60 %,	Ved overflatebehandling stilles mange	Hvor vanninntrenging i konstruksjon kan ikke hindres men

katoden (ved metning) eller overflatebelegg	og tilgang til oksygen, og ved reduksjon av oksygen korrosjon kan bremses eller helt stoppes.	materialkrav og værekrav. Tette konstruksjoner kan ha høy vanninnhold innvendig og med det er utsatte for frøstskader.	oksygeninntrenging kan reduseres eller helt stoppes.
---	---	--	--

4. Katodisk beskyttelse

Metode:	Fordeler	Ulemper	Begrunnelse for valg av metode
Påtrykking av elektrisk potensial	<p>Katodisk beskyttelse er en effektiv metode som stopper eller bremser korrosjon på armerte konstruksjoner.</p> <p>Metoden kan brukes på konstruksjoner med stor kloridinntrenging og over større områder med armeringskorrosjon.</p> <p>Kan unngås kostbar og tidskrevende mekanisk erstatning av infisert betong. Ofte er det eneste økonomisk forsvarlig måten å reparere kloridinfisert armert betongkonstruksjon.</p>	<p>Ofte store og kompliserte prosjekter som krever kompetanse.</p> <p>Armering i soner som skal beskyttes må være i kontinuitet.</p> <p>Heftsvikt mellom forskjellige materialer. Må det være god samspill mellom materialer.</p> <p>Svikt i elektronikk kan skje pga. forskjellige årsaker, noen av dem er lynnedslag, hærverk, lekkasjer, strømbrudd.</p> <p>Forsvarlig måten å reparere kloridinfisert armert betongkonstruksjon, uten massiv fjerning av den infiserte betongen.</p>	<p>Katodisk beskyttelse brukes på konstruksjoner med stor kloridinntrenging og over større områder med armeringskorrosjon, og kan ofte være det eneste økonomisk forsvarlig metode.</p> <p>Ønskes å reparere kloridinfisert armert betongkonstruksjon, uten massiv fjerning av den infiserte betongen.</p>

5. Regulering av anodisk områder

Metode:	Fordeler	Ulemper	Begrunnelse for valg av metode
Påføring av aktiv belegg på armering	<p>Armering blir dekket med et elektrisk ledende belegg som holder systemet aktivt i flere år fremover.</p> <p>Metoden skaper en elektrisk spenningsforskjell mellom stål og for eksempel sink, som hindrer korrosjon selv om omgivelsene er meget aggressive. De forholder seg slik at når to forskjellige legeringer er koblet sammen i en egnet elektrolytt (i dette</p>	<p>Infisert betong må fjernes.</p> <p>Metoden kan ikke brukes der det finnes strukturelle skader på armeringen.</p> <p>I slike tilfeller må armeringen erstattes i henhold til beregninger.</p> <p>All korrosjon og løse partikler må fjernes fra armeringen for å sikre at det er god kontakt mellom armeringsjern og reparasjonsmørtel.</p> <p>Løs og dårlig betong må fjernes, også bak armeringen om nødvendig, helt til et</p>	<p>Metoden gir en langvarig armeringsbeskyttelse og kan brukes på områder hvor infisertbetong kan erstattes, og armering grundig renngjøres.</p> <p>Kan brukes på konstruksjoner som er blant annen strek utsatte for kloridintrenging.</p>

	<p>tilfelle betong), vil legeringen med det mest negative potensialet (sinken) korrodere, mens legeringen med det minst negative potensialet (armeringsjernet) forblir beskyttet mot korrosjon. Anodene må plasseres og festes godt til armeringen slik at de ikke beveger seg under reparasjon og støpeoperasjoner. [42]</p>	<p>solid og sterkt underlag med en ru overflate oppnås. [42]</p> <p>Kan være både kostbart og tidskrevende.</p> <p>Meisling kan ytterligere svekke konstruksjon</p>	
Forsegling av armering	<p>Epoxybelagt armering som tidligere sagt oppgavens del som handler om materialer og armering, er lite brukt i Norge. Epoxybelaggt armering kan være beskyttet mot korrosjon så lenge epoxy belegg er intakt.</p>	<p>Ved skadet epoxybelegg armering fortsetter å korrodere.</p> <p>Det er observert korrosjon selv under epoxybelegg.</p>	<p>Jeg selv har brukt epoxybelagt armering kun ved fundamentforankring på Steinberg tunellen i Trondheim. (2005)</p> <p>Resultat er ukjent.</p>

Kapitel 10 Konklusjon

Etter et relativt grundig studie av betong som bygningsmaterialet, betongens skader, nedbrytningsmekanismer, prinsipper og reparasjonsmetoder, kan jeg si at denne oppgaven viser frem at problematikken rundt betongreparasjoner er faglig godt kjent, og generelt godt beskrevet i litteraturen.

Til tross for at betong er et meget bestandig material er det behov for vedlikehold og reparasjonsarbeid. Reparasjonsmetodene er flere, og valg av metoden kan være utsatt til mange påvirkninger. Disse påvirkninger kan være av både teknisk, estetisk, økonomisk, praktisk, eller til og med, av politisk opphav.

Mekaniske reparasjonsmetoder er de enkleste, og per dags dato mest utbredt. Kunnskaper blant, både prosjekterende og utførende er god og metoden er godt utprøvd. Metoden gir god resultat, og jeg kan med god sikkerhet anbefale metoden på prosjekter hvor infisert betong kan erstattes med ny betong.

Overflatebehandling er en mindre kjente metoder, og muligens krever en del mer kompetanse enn mekaniske reparasjonsmetoder. Metodene er godt beskrevet i standard NS-EN1504, og standarden setter tydelige krav på både materialer og utførelse. Kunnskap om materialer og behandlingsrutiner er nødvendig, men å kjenne tilstand på konstruksjon for å velge riktig overflatebehandlingen kan være avgjørende.

Overflatebehandlingsmetoder krever forbehandling og resultat avhenger i stor grad av værforhold, fuktighet og temperatur. Jeg kan generelt anbefale overflatebehandling på konstruksjoner som er utsatt for aggressiver eller uønsket utvendig fukt, men hvor dreneringen er god og korrosjonsprosesser har ikke enda begynt eller kommet langt.

Elektrokjemiske metoder er ofte omfattende og praktiseres stort sett på større anlegg. Det finnes flere elektrokjemiske metoder, og felles for dem alle er at de kombinerer flere materialer, og disse materialene må passe godt sammen for å oppnå et godt resultat. Elektrokjemiske metodene på lik linje med overflatebehandlinger krever en del kunnskap om tilstand på konstruksjon. Spesielt viktig er informasjon om kontinuitet på armering og betongens infiseringsmengder. Behandlingstid på elektrokjemiske metoder varierer fra noen uker til flere år, og derfor må metoden velges nøye. Jeg vil anbefale elektrokjemiske metoder på betongkonstruksjoner som er infisert med klorider eller er karbonatisert, og hvor det ikke er aktuelt med erstatning av infisert betong.

Oppgaven gir blant annet en oversikt over systemet som ligger bak forvaltning og betongreparasjoner i Statens vegvesen og viser hovedretninger og regelverk for metodevalg. Jeg kan konkludere med at systemet i Statens vegvesen er stort, og i praksis delt i flere «nivåer». Nivåene går helt fra inputinformasjon via kontroll og inspeksjon, til tilstandsvurderinger, strategier, beslutninger, prosjektering, utlysning, tildeling, utførelse og dokumentasjonsarkivering. Systemet har i tillegg til nivåer, stor faglig bredde. Vegvesens seksjoner som: Plan og prosjekteringsseksjon, Berg og geotekniskseksjon, Lab og

vegteknologiseksjon, Bru og Fergekaiseksjonen, Driftsseksjon, Investering, Plan og trafikk, osv., samarbeider på tvers av etaten for å finne ut beste løsningene med tanke på forvaltning og reparasjon av betongkonstruksjoner.

Kunnskap om både materialer, betongskader, nedbrytningsmekanismer, systemer, reparasjonsmetoder, konstruksjonsforståelse, og kjennskap til gjeldende tekniske krav, er helt nødvendig for de fleste involverte i reparasjonsprosesser.

Og helt til slutt, kan jeg med sikkerhet konkludere med at Statens vegvesen, til tross for sin størrelse som et landsdekkende etat, er godt organisert og godt faglig utstyrt til å gjennomføre selv de mest kompliserte og krevende betongreparasjoner.

Viderearbeid

Som eventuelt videre arbeid for dette temaet kan det være interessant å teste reparasjonsmetodene ut mot hverandre i praksis på diverse prosjekter, og finne ut hvilke av metodene gir best resultat og best samfunnsnytt.

Referanser

- [1] Birger Søpler, Betongboka, Universitetsforlaget AS [1995]
- [2] NTNU Institutt for konstruksjonsteknikk, Magne Maage, FAG 37048 Vedlikehold og reparasjon av betongkonstruksjoner [p:\dok\nth\eeu\skademek.96]
- [3] Statens vegvesen, Prosesskode 2, Hovedprosess 8, Håndbok R762, [2015]
- [4] Statens vegvesen, Inspeksjonshåndbok for bruer, Håndbok V441 [2014]
- [5] Jan-Magnus Østvik, Nedbrytningsmekanismer, reparasjon og vedlikehold av betongkonstruksjoner, http://www.vegvesen.no/_attachment/275075/binary/485341 [2011]
- [6] Norcem, Betong boka, Gyldendal Norsk Forlag AS, [2016]
- [7] Statens vegvesen, Betongrehabilitering – ny veiledning i bruk av standardverket. Eva Rodum. http://www.vegvesen.no/_attachment/275076/binary/485342 [2011]
- [8] Statens vegvesen, Forvaltning, drift og vedlikehold av bruer, Håndbok 147, [1997]
- [9] Statens vegvesen, Tilstandsutvikling bruer, Varige konstruksjoner, Stig Henning Helgestad, [2012 – 2015]
http://www.vegvesen.no/_attachment/704757/binary/989365?fast_title=Bestandighet+av+nyere+betongbruer.pdf
- [10] Statens vegvesen, Alkalireaksjoner – Veiledning for konstruktiv analyse, Rapport Nr.601 [2016]
- [11] Store norske leksikon, <https://snl.no> [2017]
- [12] Magne Maage, Betong til ulike formål, [1996]
- [13] Svein M. Forthun, Slakkarmerte betongkonstruksjoner, Yrkesopplæring [1993]
- [14] Norcem, Herdeteknologi, www.norcem.no [2017]
- [15] Sintef Betong, Per Arne Dahl, Alkalireaksjoner – Årsak og skader og hvordan unngå dette, Presentasjon til Statens vegvesen,
https://www.vegvesen.no/_attachment/390435/binary/669565, [2012]
- [16] Normet Construction Chemicals, Roar Myrdal, Korrosjon av stålarmring i betong, Statens vegvesen Teknologi dagene Trondheim, www.normet.com [2012]
- [17] Norconsult, Jon Luke, Kartlegging av miljøbetingelser i tunneler,
http://www.vegvesen.no/_attachment/390433/binary/669563?fast_title=Tilstandsutvikling+tunnel+%E2%80%93+betongbestandighet+i+tunnel.pdf [2012]
- [18] Statens vegvesen, Drift og vedlikehold av betongkonstruksjoner, Teknologi dagene, [2007]
- [19] Norsk betongforening, Parkeringshus i betong prosjektering bygging vedlikehold, Bernt Kristiansen Erik Gronner Jarle H. Hatlelid Jon Luke Magne Maage, Veiledning, [Utgivelse 2017]
<http://butikk.betong.net/wp-content/uploads/H%C3%B8ringsutkast-2.-mars-2017-P-hus-i-betong-Veiledning-03-17.pdf>
- [20] Statens vegvesen, Tilstandsutvikling Bruer, Eva Rodum, Teknologi dagene [2012]
http://www.vegvesen.no/_attachment/390432/binary/669562?fast_title=Tilstandsutvikling+bru+%E2%80%93+eksempler+p%C3%A5+hva+som+gj%C3%B8res.pdf,

- [21] SINTEF, Mikroskopi av betong og betongtilslag, Marit Haugen,[2005]
https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi_og_samfunn/betong/laboratorieproving/mikroskopi.pdf
- [22] Stein W. Østerhus, Korrosjonskontroll og vannglass, NTNU, [2013]
https://www.sintef.no/globalassets/project/va-dagene/2013/foredrag/07_ntnu.pdf
- [23] Norsk Fabrikkbetongforening, Ny europeisk betongstandard, www.fabeko.no [2004]
- [24] Transportøkonomisk institutt i Oslo, Modeller for økonomiske analyser av vedlikeholds strategier og vedlikeholdsbudsjetter, Harald Minken, Geir Dahl, Nils Gaute Voll, , TØI rapport [2014] <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=39742>,
- [25] Statens vegvesen, Kapittel 13 Bruer og kaier, Eva Rodum, [2011]
http://www.vegvesen.no/_attachment/290265/binary/512535
- [27] Statens vegvesen. Luft i betong, Frostskader og praktiske utfordringer, Hedda Vikan, http://www.vegvesen.no/_attachment/390436/binary/669566 [2012]
- [28] Betongelementforening, Betongelementer, Samferdsel, <http://www.betongelement.no/media/9389/Samferdselpublikasjonen.pdf>,[2006]
- [29] Sintef Byggforsk, Miljømessige aspekter ved bruk av betong, <https://fabeko.no/assets/13-Sintef-miljomessige-aspekter.pdf>, [2006]
- [30] Kjemisk Injeksjon, Kristiansand Bygg A/S, <http://www.kristiansandbygg.no/kjemisk-injeksjon> [2013]
- [31] Rivning & Håltagning, Prosjekt, <http://www.sbhab.se>, [2015]
- [32] Statens vegvesen, Regelverk for betongrehabilitering Implementering av NS-EN 1504-serien, Eva Rodum, http://www.vegvesen.no/_attachment/182149/binary/349883 [2014]
- [33] Statens vegvesen, Elektrokjemiske metoder ved reparasjon av betongkonstruksjoner, Jan-Magnus Østvik, http://www.vegvesen.no/_attachment/182170/binary/349946 [2010]
- [34] Universitet i Zagreb, NAČELA I METODE IZVOĐENJA SANACIJA AB KONSTRUKCIJA, undervisning 3, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/3._Predavanje_Nacela_i_metode.pdf, [2016]
- [35] Skogbrukets kursinstitutt, Inspeksjon av bruer på landbruksveger, [2012]
http://www.skogkurs.no/userfiles/files/skogsveier/Inspeksjon_bruer.pdf
- [36] Mapei, Produkter for reparasjon og rehabilitering av betong.
<http://www.mapei.com/public/NO/brochures/multimedia/betongrehabilitering-no-0915-300915-low.pdf> [2015]
- [37] Norsk forening for betongrehabilitering, FKBB – Faggruppen for katodisk beskyttelse av betong. <http://betongrehabilitering.net/wp-content/uploads/2017/03/Sjekkliste-prosjektering-av-KB-feb-2017.pdf>, [2017]
- [38] Statens vegvesen, Volumendringer og risstendens i betong, Rapport nr.2565, Øyvind Bjøntegaard, [2009]
- [39] Statens vegvesen, Rapport nr.2580, Kontroll med opprissing i betongens herdefase, Øyvind Bjøntegaard, [2010]
- [40] Norsk Forening for Betongrehabilitering, Faggruppen for Elektrokjemisk Behandling av Betong (EBAB), Elektrokjemisk realkalisering og Elektrokjemisk kloriduttrekk [2017]
http://betongrehabilitering.net/wp-content/uploads/2017/03/EBAB-Brosjyre-revidert_Ferdig-versjon.pdf,

- [41] Statens vegvesens rapport nr. 237, Alkalireaksjoner – Overflatebehandling og andre tiltak, Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015 [2013]
https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/_attachment/498729?_ts=13fcd57fc98&fast_title=SVV+rapport+237.pdf,
- [42] Mapei, Mapeishild, http://www.mapei.com/docs/librariesprovider2/products-documents/6102_mapeshieldi_noaa76757179c562e49128ff01007028e9.pdf?sfvrsn=3e4149e1_0, [2015]
- [43] Byggforskserien, Dokumenterte løsninger for deg som bygger, prosjekterer og forvalter bygninger [2017]
https://www.byggforsk.no/dokument/589/ement_typer_egenskaper_og_bruksomraader,
- [44] Statens vegvesen, Eva Rodum, Kapittel 13 Bruer og kaier,
https://www.vegvesen.no/_attachment/290265/binary/512535, [2011]
- [45] Statens vegvesen, Alkalireaksjoner i betongbruer–Dokumentasjon, oppfølging og tiltak, Bård Pedersen& Eva RodumVegdirektoratet, Tunnel og betong,
https://www.vegvesen.no/_attachment/1026689/binary/1059653?fast_title=03.+Alkalireaksjoner+i+betongbruer+%E2%80%93+dokumentasjon%2C+oppf%C3%B8lging+og+tiltak.pdf, [2015]
- [46] Doka Norge AS, <https://www.doka.com/no>. [2017]
- [47] Betongsaging, Vaktmesterhjelpen, <http://vaktmesterhjelpen.no/betongsaging>, [2017]
- [48] NTNU, TKT 4225 Concrete Technology 2, Chapter 6 Mechanical repair, pensum i fag NTNU KT6004 [2016]
- [49] Statens vegvesen, Vegveven, <https://www.vegvesen.no/intranett>, [2017]
- [50] Statens vegvesen, Prosesskode 2, www.vegvesen.no [2015]

Figurliste

Figur 1 Støtteskader pga snønrøyting på Fv.65 Forve bru i 2017	18
Figur 2 Støtteskader ved snøbrøyting kombinert med frøstskader på Fv.65 Forve bru [2017]	18
Figur 3 Vanlige årsaker til betongnedbrytning i NS-EN1509.....	20
Figur 4 Plassering av oksidlag rundt armering [35].....	21
Figur 5 Volumekspansjon ved korrosjon [16].....	21
Figur 6 Armeringskorrosjon [16].....	22
Figur 7 Illustrasjon av karbonatisering [16]	23
Figur 8 Karbonatiseringsdybde målt i Heltunnelen på E6 [17].....	23
Figur 9 Karbonatisert betong [9].....	24
Figur 10 Betongprøver sprayet med indikatorvæsker [17].....	24
Figur 11 Armeringskorrosjon pga. kloridinntrenging [16].....	25
Figur 12 Illustrasjon av "pitting-korrosjon" [16]	25
Figur 13 Kloridkonsentrasjon i betong og risikonivåer [16]	26
Figur 14 Alkalireaksjoner i brusøylen på Elgeseter bru i Trondheim	26
Figur 15 Rehabilitering av Elgeseter bru i Trondheim [45]	27
Figur 16 Spenningsoppbygging i betong pga. frøst [27]	27
Figur 17 Frøstskader, foto Tor Helge Johansen, 2009 [27].....	28
Figur 18 Bruelementer [35].....	31
Figur 19 Prinsipper og metoder i NS-EN1504 del 9 [2017].....	36
Figur 20 Oversikt over NS-EN1507 (1-10) [7].....	37
Figur 21 Inndeling av NS-EN1504 [7].....	37
Figur 22 Spesiellstandard NS-EN12696 [7]	38
Figur 23 Spesielle standarder CET/TS 14038-1, 14487 del 1 og 2 [7].....	38
Figur 61 Pris på armering i 2017, Prosesskode 2, prosess 84.3.....	75
Figur 62 Pris på betong i 2017, Prosesskode 2, prosess 84.4.....	75
Figur 63 Pris på overflatebehandling i 2017, Prosesskode 2, prosess 84.4.....	75
Figur 64, Pris på lift ved inspeksjon i 2017, Prosesskode 2, prosess 88,11	75
Figur 65 Pris på stilaser i 2017, Prosesskode 2, prosess 88.2191	75
Figur 66, Pris på prosesser ved mekanisk reparasjon i 2017, Prosesskode 2, prosess 88.2. 76	
Figur 67, Pris på boring i betong, 2017, Prosesskode 2, prosess 88,2 og 3	76
Figur 68, Pris på betongsaging i 2017, Prosesskode 2, prosess 88.524	76
Figur 69, Pris på fuktisolering i 2017, prosesskode 2, prosesser 88.53 og 88.549	76
Figur 70 Reidar Kompen studerer lekkasje i riss i Bjørvika tunnelen i Oslo 2010 [39], og måling av rissvidde med risslinijal [26].....	77
Figur 71 Prøving av kontroll av underlaget. Tabell 88.241-1 [50].....	78
Figur 72 Prøving og kontroll før og under inisijering-pensling. Tabell 88.241-2 [50]	79
Figur 73 Prøving og kontroll etter herding. Tabell 88.541-3 [50]	79
Figur 74 Lekkasjetetting med sementinjeksjon [31].....	80
Figur 75 Injisering tatt av AWAB industrigolv www.awabindustrigolv.se	80
Figur 76 Klassifisering av injiseringsmateriale. Tabell 88.243-1 [50]	81

Figur 77 tabell 88.27-3 Prøving og kontroll etter forbehandling [50]	83
Figur 78 Tabell 88.27-4 Prøving og kontroll før og under påføring av overflatebehandling [50].....	84
Figur 79 tegning av hydrofoberende impregnering [NS-EN1504-2]	85
Figur 80 Impregnert området på høyresiden [34]	85
Figur 81 Tegning illustrerer impregnering [NS-EN1504-2].....	86
Figur 82 Impregnering [22].....	86
Figur 83 Tegning illustrerer påført belegg på betong [NS-EN1504-2]	87
Figur 84 Kulvert før og etter beleggpåføring [34]	87
Figur 85 Tabell 88.27-1 Krav til hydrofoberende impregnering [50]	88
Figur 86 Krav til filmdannende belegg. Tabell 88.27-2 [50]	89
Figur 87 Tabell 88.27-5 Prøving og kontroll etter herding [50]	90
Figur 88 karbonatiserings prosess og elektrokjemisk realkalisering [40].....	91
Figur 89 Realkalisert betong etter gjennomført elektrokjemisk realkalisering [40]	92
Figur 90 illustrasjon av kloridinntrenging og elektrokjemisk kloriduttrekk [40].....	93
Figur 91 illustrasjon av betong etter elektrokjemisk kloriduttrekk [40]	94
Figur 92 Elektromigrasjon [33]	95
Figur 93 Ionerbevegelser ved KB [33].....	95
Figur 94 Titannett på Gimsøystraumenbrua [33]	96
Figur 95 Betongsprøyting på nettingen (Foto: Tomas Rolland).....	96
Figur 96 Elektriske installasjoner ved KB [33]	97
Figur 97 Driftskontrakter veg pr 1. sept 2016 [49]	101