

NFB Publikasjon nr. 3

Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner

Høringsutkast

Forbehold om ansvar

Denne publikasjonen fra Norsk Forening for Betongrehabilitering er utarbeidet av en prosjektgruppe sammensatt av fagpersoner utnevnt av foreningens styre. I prosessen med utarbeiding av publikasjonen boka er det gjort det ytterste for å sikre at innholdet er i samsvar med kjent viten og lover, forskrifter og standarder som var gjeldende når arbeidet ble avsluttet. Publikasjonen har vært på høring i fagmiljøet.

Noen feil eller mangler kan likevel forekomme. Norsk Forening for Betongrehabilitering, medlemmer i prosjektgruppen eller styret kan ikke ta ansvar for direkte eller indirekte følger av eventuelle feil eller mangler i publikasjonen eller bruken av innholdet i boka.

Norsk Forening for Betongrehabilitering forutsetter at publikasjonen brukes av personer med den nødvendige faglige kompetansen, og med forståelse for de begrensningene og forutsetningene som er lagt til grunn. Feil tolking og bruk av innholdet i publikasjonen er ikke Norsk Forening for Betongrehabilitering sitt ansvar.

Innholdsfortegnelse

Innholdsfortegnelse	3
Forord	6
1. Innledning	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Etikk	8
1.3 Kompetanse	8
1.4 Kulturminner	10
1.5 Bærekraft	12
1.6 Bestilling av tilstandsanalyse	12
2. Metodikk	14
2.1 Faseinndeling	14
2.2 Programfase	14
2.3 Planleggingsfase	15
2.4 Undersøkelsesfase	16
2.5 Vurderingsfase	17
2.6 Rapporteringsfase	17
3. Analysenivå	19
3.1 Analysenivåer	19
3.2 Nivå 1- enkel tilstandsanalyse	19
3.3 Nivå 2 – utvidet tilstandsanalyse	20
3.4 Nivå 3 – omfattende tilstandsanalyse	21
4. Planlegging av tilstandsanalysen	23
4.1 Innhenting av grunnlagsmateriale	23
4.2 Plan for gjennomføring av tilstandsanalysen	25
4.3 Tilkomsutstyr og utstyrsbehov	26
4.4 Etablering av tilstandsgrad og valg av referansenivå	31
4.5 Lokaliseringssystem	32
4.6 Sikkerhet, helse og arbeidsmiljø	35
5. Tilstandsregistrering – visuell kontroll	38
6. Prøvetaking	46
6.1 Valg av prøvested og undersøkelser	46
6.2 Valg av prøveomfang	46
6.3 Reproduserbarhet og repeterbarhet	47

6.4	Uttak av prøver for materialanalyse i laboratorie	48
7	Metoder for feltundersøkelse	50
7.1	Generelt for feltmetoder	50
7.2	Aktuelle undersøkelser	51
7.3	Bomkontroll	51
7.4	Måling av armeringens betongoverdekning	53
7.5	Måling av karbonatiseringsdybde	56
7.6	Måling av kloridinnhold	58
7.7	Opphugning	66
7.8	Rissmåling	67
7.9	Potensialmåling (EKP)	69
7.10	Elektrisk motstand	72
7.11	Heftfasthet	73
7.12	Kontroll av armeringskontinuitet	76
7.13	Prellhammertest	77
7.14	Ultralyd	79
7.15	Relativ fuktighet	81
7.16	Korrosjonshastighet	83
8.	Metoder for laboratorieundersøkelser	85
8.1	Aktuelle undersøkelsesmetoder	85
8.2	Trykkfasthet	85
8.3	Densitet	87
8.4	Strekkfasthet	88
8.5	E-modul	89
8.6	Kloridanalyse ved potensiometrisk titrering	90
8.7	Karbonatiseringsmåling	91
8.8	Sementinnhold	92
8.9	Alkalireaktivitet	92
8.10	Differensialtermiske analyser, DTA	93
8.11	Strukturanalyse	94
8.12	Porøsitet - PF-metoden	99
8.13	Frostprøving	100
8.14	Kloriddiffusjon	101
8.15	Spesifikk elektrisk motstand	101
8.16	Diffusjonsåpenhet	102

8.17 Mikro-røntgenfluorescens (μ XRF)	103
8.18 Kontroll av armeringsstål	104
8.19 Overflatebehandling	105
9. Vurdering av skadeårsak, konsekvens og risiko	107
9.1 Vurdering av skadeårsak og skadeutvikling	107
9.2 Vurdering av skadekonsekvens	108
9.3 Vurdering av forventet gjenværende brukstid	109
9.4 Vurdering av bæreevne/konstruksjonssikkerhet	112
9.5 Vurdering av risiko	112
10. Vurdering av forvaltningsstrategi	114
10.1 Forvaltningsstrategier	114
10.2 Faktorer som påvirker valg av strategi	115
11. Vurdering av utbedringstiltak	117
11.1 Behov for tiltak	117
11.2 Prinsipp og metoder for beskyttelse og reparasjon	117
11.3 Krav til beskyttelses- og reparasjonstiltak på kulturminner	121
11.4 Krav til produkter og materialer	122
12. Rapportering	123
Referanser	126

Forord

På midten av 1990-tallet utarbeidet Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) publikasjonen «Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner». Publikasjonen ble en suksess og en norm for gjennomføring av tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner.

Selv om det er 25 år siden publikasjonen ble utarbeidet, brukes den fremdeles som referanse for gjennomføring av tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner. Mye er skjedd siden publikasjonen så dagens lys med hensyn standardisering nasjonalt og internasjonalt. I tillegg har erfaringer med tilstandsanalyser gitt ny kunnskap.

Med bakgrunn i dette har Norsk Forening for Betongrehabilitering (NFB) i samarbeid med Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) tatt initiativ til en revisjon av RIF-normen for tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner. Målsettingen har vært å utarbeide en helt ny veiledning for tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner basert på gjeldende standardverk og dagens kunnskapsnivå. Publikasjonen vil nå bli utgitt gjennom NFB.

Revisjonsarbeidet har vært utført av en prosjektgruppe bestående av:

- Jan Lindland, Stærk & Co as (prosjektleder)
- Ole Kristian Prestrud, Multiconsult AS
- Liv Odden, WSP Norge AS
- Hilde Rannem Isaksen, Norconsult AS

Prosjektet har først og fremst vært finansiert med midler fra Norsk Forening for Betongrehabilitering (NFB) og Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF). I tillegg har følgende bidratt med midler til finansiering av prosjektet: Entreprenørforeningen – Bygg og Anlegg (EBA), Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kystverket, Bane Nor SF, Oslo Havn KF, Consolvo AS, BMO Entreprenør AS, PA Entreprenør AS, Smørholm AS, Thorendahl AS, Oslo Murmesterbedrift AS, Veidekke Entreprenør AS, Multiconsult AS, Norconsult AS, OPAK AS og Stærk & Co as. Vi takker alle bidragsyterne for støtten til prosjektet.

Vi håper denne publikasjonen kan bli en god arvtager for RIF-normen og til stor nytte for bransjen. Publikasjonen vil forhåpentligvis medvirke til felles forståelse og enhetlig måte for gjennomføring av tilstandsanalyser av betongkonstruksjoner samt sikre at tilstandsanalyser utføres i samsvar med standardverket.

Oslo,2022

Norsk Forening for Betongrehabilitering

Jan Lindland

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

En tilstandsanalyse er helt påkrevd for å kunne planlegge og utføre nødvendige tiltak for å ta vare på og bevare en betongkonstruksjon for å opprettholde tilfredsstillende konstruksjonssikkerhet og bestandighet. Gjennomføring av tilstandsanalyse er også viktig for å sikre autenticitet og integritet for betongkonstruksjoner som enten er eller kan bli verneverdige.

Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner kan med fordel utføres selv om det ikke er tegn til skader på konstruksjonen, fordi det da kan avdekkes om begynnende nedbrytning/skadeutvikling er på gang. På den måten vil en få nødvendig kunnskap om tilstanden til konstruksjonen til å kunne utføre preventive tiltak for å stoppe eller bremse skadeutviklingen/nedbrytningen. Slike tiltak vil normalt være langt rimeligere enn omfattende reparasjonsarbeider. I tillegg vil effekten av preventive tiltak være langt større for konstruksjonens brukstid enn omfattende reparasjoner, fordi initieringstiden før skader utvikles forlenges vesentlig. En tilstandsanalyse på et tidlig stadium i nedbrytningen vil heller ikke bli så omfattende og kostbar.

Hensikten med en tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner vil være å kartlegge tilstanden til konstruksjonen med hensyn skadeårsak, skadeomfang og skadekonsekvens som grunnlag for å kunne planlegge og utføre nødvendige beskyttelses- og reparasjonstiltak for å bevare betongkonstruksjonen og sikre at den kan oppfylle sin funksjon.

Iht. NS-EN 1504-9 [1] er det krav om at det **skal** utføres en tilstandsanalyse før det iverksettes beskyttelses- og reparasjonstiltak. Nevnte standard angir spesifikt at det skal foretas en vurdering av skader og skadeårsak samt en vurdering av betongkonstruksjonens evne til å oppfylle sin funksjon. Skadeomfang og sannsynlig fremtidig skadeutvikling skal vurderes, og det skal gjøres en vurdering av konstruksjonsdelens eller konstruksjonens gjenværende brukstid, dersom det ikke iverksettes beskyttelses- eller reparasjonstiltak.



Figur 1.1 Feltundersøkelse i forbindelse med tilstandskontroll (Foto: Norconsult AS)

Standarder og veiledninger for gjennomføring av tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner er viktig for å sikre lik praksis i oppbygging, gjennomføring, dokumentasjon og rapportering av tilstandsanalyser. Det nærmeste vi kommer en standard for tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner er ISO 16311-2 [2]. Utfordringen med denne standarden er at den ikke er i samsvar med strukturen i NS 3424 [3]. NS 3424 er et nasjonalt rammeverktøy i Norge for gjennomføring av tilstandsanalyser uavhengig av fag og materialer.

Det finnes også en standard for tilstandsanalyse av fredete og verneverdige byggverk – NS-EN 16096 [4]. Denne standarden gir retningslinjer for tilstandsanalyse av fredete og verneverdige byggverk basert på visuelle observasjoner. Standarden er først og fremst egnet for å identifisere vedlikeholdsbehov og behov for grundigere undersøkelser. Den er derfor ikke egnet for mer detaljerte materialundersøkelser. Standarden er derimot godt egnet til overordnet vurdering av tilstanden for fredete eller verneverdige byggverk for å oppnå sammenlignbare data for flere byggverk.

Å utarbeide en veiledning for tilstandsanalyse for betongkonstruksjoner som ikke er basert på strukturen i NS 3424 [3] [5], vil bare skape forvirring og usikkerhet, siden denne standarden er ment å være et nasjonalt rammeverktøy for tilstandsanalyser for alle materialer og konstruksjoner/anlegg. Denne publikasjonen er derfor basert på strukturen i NS 3424, selv om dette avviker fra strukturen i ISO 16311-2. Elementer fra alle nevnte standarder inngår i likevel i denne veiledningen så langt det har vært mulig innenfor strukturen gitt av NS 3424.

1.2 Etikk

Tilstandsanalysen skal utføres etter beste faglige skjønn og upåvirket av partsinteresser av noen slag. Det er svært viktig at de undersøkelser og vurderinger som gjøres i forbindelse med en tilstandsanalyse ikke påvirkes av bindinger mellom den som utfører tilstandsanalysen og de som har interesse i konstruksjonen. De som har interesser i konstruksjonen kan være eiere av konstruksjonen, rådgivere, utførende entreprenører eller leverandører som har vært med under byggingen.

Den som utfører en tilstandsanalyse skal informere om og avklare hvorvidt eventuell tilknytning til andre interesser kan ha innvirkning på uhildet gjennomføring av oppdraget. En skal opptre slik at det ikke kan reises tvil om at oppdragsgivers interesser ivaretas. Det er svært viktig at det ikke skapes usikkerhet til om vurderinger og anbefalinger i tilstandsrapporten er objektive og upåvirket av partsinteresse. Dersom det kan reises spørsmål ved habiliteten til den som skal utføre tilstandsanalysen, kan en enten få utført en habilitetsvurdering eller en kan avstå fra oppdraget.

Det er også viktig at den som utfører tilstandsanalysen ikke bruker mottatt informasjon fra oppdragsgiver, resultater fra tilstandsanalysen eller utarbeidet dokumentasjon i strid med oppdragsgivers interesser. Eventuell bruk av informasjon tilegnet gjennom utført tilstandsanalyse skal avklares og godkjennes av oppdragsgiver.

1.3 Kompetanse

1.3.1 Generelle krav

Tilstandsanalysen skal utføres av kvalifiserte personer som har nødvendig kompetanse og erfaring med gjennomføring av tilstandsanalyser av betongkonstruksjoner og rehabiliteringsarbeider. Den som bestiller utførelse av en tilstandsanalyse, må sørge for å etterspørre dokumentasjon av kompetanse.

Den eller de som skal gjennomføre en tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner skal **samlet** ha:

- kunnskap om grunnleggende betongteknologi og nedbrytningsmekanismer
- kunnskap om byggemetoder
- kunnskap om ulike forvaltningsstrategier
- kunnskap og erfaring med undersøkelsesmetoder
- kunnskap og erfaring med gjennomføring av tilstandsanalyse
- kunnskap og erfaring med ulike metoder for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner
- kunnskap og kjennskap til standardverket
- god konstruksjonsforståelse

Den eller de som skal gjennomføre en tilstandsanalyse av vernede betongkonstruksjoner skal **samlet** i tillegg ha:

- kunnskap om materialhistorie og kulturhistorie
- kunnskap om kulturminnelovgivningen
- kunnskap og erfaring med tilstandsanalyse og rehabilitering av fredede og verneverdige konstruksjoner

Følgende kompetansekrav stilles til den som er **ansvarlig** for gjennomføring av tilstandsanalysen:

- Utdannelse: Bachelor- eller mastergrad innen bygg og anlegg med konstruksjonsfag og/eller materialteknologi
- Kunnskap: Kjennskap og kunnskap om de ulike elementene i opplistingen foran dokumentert ved fremleggelse av kopi av vitnemål fra fag i utdanningen eller kursbevis fra gjennomførte kurs arrangert av bransjeforeninger
- Praksis: Minst 5 års erfaring med tilstandsanalyse og gjennomføring av betongrehabiliteringsarbeider dokumentert med CV med opplisting av referanseprosjekt

I forbindelse med tilstandsanalyse på vernede betongkonstruksjoner, anbefales å supplere overnevnte praksiskrav med minst 3 referanseprosjekt på verna betongkonstruksjoner.

Ved vurdering og kontroll av bæreevne og konstruksjonssikkerhet må det stilles følgende kompetansekrav:

- Utdannelse: Bachelor- eller mastergrad innen bygg og anlegg med konstruksjonsfag
- Praksis: Minst 5 års erfaring med dimensjonering av betongkonstruksjoner dokumentert med CV med opplisting av referanseprosjekt.

Overnevnte krav er ikke til hinder for at det kan benyttes prosjektmedarbeidere som ikke tilfredsstiller kravene. De angitte kompetansekravene gjelder for den som er ansvarlig for gjennomføring av tilstandsanalysen – oppdragsansvarlig.

1.3.2 Kompetansekrav ved arbeider i vann

Iht. kapittel 26 i Arbeidstilsynets forskrift om utførelse av arbeider [6] skal dykkerarbeider utføres av minimum en dykkeleder, en dykker, en beredskapsdykker og en lineholder. Ved flere dykkere i vannet skal antallet lineholdere økes tilsvarende. Ved inspeksjoner i vann er det ikke tillatt å bruke hobbydykkere, kun yrkesdykker med godkjent sertifisering – dykkersertifikat. Kompetansekrav til de ulike funksjonene er angitt i nevnte forskrift som også beskriver hvilke arbeidsoppgaver som ivaretas av de ulike funksjonene.

Det finnes 6 klasser som benyttes til «innshore» dykking.

- Arbeidstilsynets kl. R = redningsdykker
- Arbeidstilsynets kl. A = arbeid ned til 30m dyp
- Arbeidstilsynets kl. B = arbeid ned til 50m dyp
- Petroleumstilsynets kl. C
- International Diving Schools Association (IDSA) Level-3 (dette er for dykkere som er utdannet i utlandet)
- Norsk Yrkesdykkerskole NYD kl. 1 = arbeid ned til 50m dyp

Det er kun dykkersertifikat kl. B, C, L3 eller NYD.1 som gir anledning til å utføre selve inspeksjonen. Dykkerlaget må bestå av en person med sertifisering som dykkerleder. Kl. R og A kan kun bistå dykkerteamet som standby-dykker eller lineholder.

Hvis betongflatene skal bearbeides før inspeksjon og det skal utføres prøvetaking, må dykker, dykkerleder og standby-dykker inneha en av klassene kl. B, C, L3 eller NYD.1. Med bearbeiding menes rens av betongoverflaten (skraping, børsting, høytrykkspyling eller sandblåsing), fjerning av bunnmasser med sug eller brannsprøyte eller fjerning av forskaling. Prøvetaking kan omfatte meisling for å sjekke tilstanden til armeringsjern, steinreir, etc. eller uttak av borkjerner for materialanalyse.

Ved betongrehabiliteringsarbeider i vann vil det ikke være tilstrekkelig å benytte dykkerteam med kun godkjente dykkersertifikat. Dykkerne må i tillegg ha kunnskap og erfaring med betongrehabilitering. Norsk Yrkesdykkerskole har utarbeidet et eget dykkerkurs for inspeksjon av betongkonstruksjoner som ivaretar dette.

1.4 Kulturminner

I forbindelse med vernestatus for kulturminner benyttes begrepene fredet, vernet og verneverdig. Begrepene blir ofte brukt om hverandre og dette skaper forvirring.

Fredning er den strengeste form for vern. Fredning innebærer at inngrep/endringer på kulturminner, som går utover vanlig vedlikehold, må godkjennes av kulturmiljømyndighetene. Fredning utføres med hjemmel i kulturminneloven [7]. Kulturminner kan ha ulik fredningsstatus – fredningssak pågår, midlertidig fredet, automatisk fredet, forskriftsfredet, vedtaksfredet, fredet kulturmiljø og verdensarv. Beskrivelse av de ulike fredningsstatusene er nærmere beskrevet på nettsiden til Riksantikvaren - <https://www.riksantikvaren.no/Fredning/Fredningsstatus>. Alle inngrep på fredete kulturminner krever godkjenning/dispensasjon av kulturmiljøforvaltningen – enten Riksantikvaren eller regional kulturmiljøforvaltning.



Figur 1.2 Kulturminne – fasaderehabilitering med elektrokjemisk realkalisering (Foto: Stærk & Co as)

Et vernet kulturminne kan være vernet med hjemmel i lov, f.eks. plan- og bygningsloven [8], kirkeloven eller naturmangfoldloven. Andre virkemidler for vern er for eksempel statlige verneplaner og listeføring.

Betegnelsene verneverdig og bevaringsverdig betyr det samme. Et verneverdig eller bevaringsverdig kulturminne er et kulturminne som har gjennomgått en kulturhistorisk verdivurdering og er identifisert som verneverdig. De mest verneverdige kulturminnene er av nasjonal verdi. Det er først og fremst disse som fredes etter kulturminneloven. Kulturminner kan også ha regional eller lokal verdi. Normalt vil det være kommunene som sikrer vern av slike kulturminner ved hjelp av plan- og bygningsloven. Listeføring er en annen måte å markere at et kulturminne er verneverdig på.

Formålet med en teknisk tilstandsanalyse av kulturminner vil være å bidra til at de kulturhistoriske og arkitektoniske kvalitetene ved betongkonstruksjonen også blir ivaretatt ved en rehabilitering. Det finnes en norsk standard for tilstandsanalyse av fredede og verneverdige bygninger NS-EN 16096 [4], men den er lite egnet til teknisk tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner. Standarden beskriver likevel forhold som må ivaretas ved tilstandsanalyse av kulturminner, som krav til informasjon om konstruksjonen, kildemateriale, forvaltningsinformasjon og forhold som skal inngå i en risikovurdering.

Tilstandsanalyser av kulturminner vil medføre inngrep i betongkonstruksjonen som det må søkes dispensasjon om. Det må da sendes en dispensasjonssøknad til kulturmiljøforvaltningen der en beskriver type inngrep, behovet for inngrepet med begrunnelse, omfang av inngrepet og lokalisering av inngrepet.

Ved tilstandsanalyser på kulturminner vil det være behov for en del andre undersøkelser som normalt ikke inngår i tilstandsanalyser på betongkonstruksjoner som ikke er underlagt noe vern. Det

kan f.eks. være analyser som viser sammensetning av opprinnelig materialer, analyser for bestemmelse av opprinnelig farge, fargetrapper, etc.

1.5 Bærekraft

Gjennom internasjonale miljø- og klimaavtaler er det krav til hvordan vi globalt og nasjonalt skal nå mål for utslippsreduksjon. Rundt 40 prosent av de globale klimautslippene kommer fra bygg- og anleggsbransjen. De nasjonale målene innebærer blant annet at vi må bygge, bruke og drifte eksisterende konstruksjoner på en måte som medfører kraftig reduksjon i utslipp av klimagasser.

Vedlikehold og rehabilitering av betongkonstruksjoner vil framover bidra vesentlig til en bærekraftig byggebransje og samfunnsutvikling. Gjenbruk av betongkonstruksjoner vil derfor bli viktigere framover, fordi det er en betydelig klimagevinst å hente ved gjenbruk.

Rehabilitering av eksisterende betongkonstruksjoner kan være mer bærekraftig enn å rive og bygge nytt, fordi en gjenbruker et materiale som i dag representerer store klimautslipp. Sett i et livssyklusperspektiv vil eksisterende betongkonstruksjoner ha et enormt bærekraftsfortrinn fremfor nybygging, selv om det gjennomføres omfattende rehabiliteringsarbeider.

Dette forutsetter at rehabiliteringsarbeidene også utføres ved bruk av materialer som medfører minst mulig utslipp av klimagasser. Miljødeklarasjoner (EPDer) kan benyttes til vurdering av miljøytelsen til de materialene som skal benyttes i forbindelse med rehabiliteringen.

Gjennomføring av tilstandsanalyse for eksisterende betongkonstruksjoner er derfor svært viktig i et bærekraftperspektiv for å kunne ta vare på betongkonstruksjonene og unngå riving. Dersom en tilstandsanalyse kan gjennomføres før nedbrytningen er kommet for langt, vil vedlikeholds-/rehabiliteringsarbeidene bli mindre omfattende, og dermed gi mindre utslipp av klimagasser.

Livsløpsvurderinger (LCA) og miljødeklarasjoner (EPD) for materialer som inngår i rehabilitering av eksisterende betongkonstruksjoner, kan være hjelpemidler for å vurdere miljøvennlige løsninger og dokumentere at rehabilitering er mer bærekraftig enn å rive og bygge nytt. Livsløpsvurdering omfatter alle klimagassutslipp over hele konstruksjonens livsløp – fra vugge til grav. Ved vedlikehold og rehabilitering beregnes kun utslippene knyttet til nye materialer, transport og byggevirksomhet, da eksisterende betongkonstruksjoner allerede har tatt klimabelastningen. Slike vurderinger som her omtalt vil ikke inngå i en tilstandsanalyse, men bør utføres som en del av planlegging og prosjektering av vedlikeholds-/rehabiliteringsarbeidene. Slike vurderinger må utføres av fagmiljø med spesialkompetanse på fagområdet.

1.6 Bestilling av tilstandsanalyse

Eiere av betongkonstruksjoner har svært ulik kompetanse om tilstandsanalyse og rehabilitering av betongkonstruksjoner. Profesjonelle byggherrer som bl.a. Statsbygg, Statens vegvesen, Forsvarsbygg, etc. har nødvendig kompetanse til enten å utføre tilstandsanalyser selv eller utarbeide tilbudsforespørsler for utførelse av tilstandsanalyse. Det som derimot er en utfordring, er at svært mange eiere av betongkonstruksjoner ikke har denne kunnskapen, og dermed heller ikke forutsetninger for å utarbeide en entydig tilbudsforespørsel for gjennomføring av tilstandsanalyse [9]. Resultatet blir mangelfulle tilbudsforespørsler som i sin tur medfører at tilbudene kostnadmessig spriker i alle retninger. Med store prisforskjeller kan en være helt sikker på at det er gitt tilbud på tilstandsanalyser med helt forskjellig omfang.

Dersom eier av betongkonstruksjonen ikke innehar nødvendig kunnskap om tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner, bør eier søke hjelp til å få utarbeidet en utfyllende tilbudsforespørsel for å sikre

at tilbyderne gir pris på samme grunnlag, slik at tilbudene blir sammenlignbare. Det bør da utarbeides en detaljert beskrivelse for tilstandsanalysen bl.a. omfattende:

- valg analysenivå
- krav til kompetanse
- formål med tilstandsanalysen
- angivelse av hvilke konstruksjoner eller deler av konstruksjonene som skal inngå i tilstandsanalysen
- omfang av type prøver/analyser
- krav til fremdrift og tidsfrister
- ytelser fra eier mht. strøm, vann, rigg-fasiliteter, tilkomstsutstyr, varsling, sikring, etc.
- tilgjengelig grunnlagsmateriale (tegninger, tidligere rapporter, etc.)
- stedlige forhold som må ivaretas under tilstandsundersøkelsen (trafikkavvikling, støykrav, støvkrav, etc.)
- arbeidstidsbegrensinger
- etc.

Tilstandsanalysen kan godtgjøres enten som regningsarbeid, fastpris eller en kombinasjon av fastpris, enhetspriser og regningsarbeid. Ved regningsarbeid godtgjøres utført arbeid etter medgått tid med tilbudt timepris for ulike kategorier personell. I tillegg dekkes direkte utlegg til reise, overnatting, forbruksmaterieil, utstyrsleie, laboratorieprøver, etc. med et påslag. Ved forespørsel om fastpris, må prøveomfanget spesifiseres slik at tilbyder vet hva som skal prises, dvs. type prøver og prøveomfang må være angitt. Dette er krevende, men svært viktig, fordi det først og fremst er type prøver og prøveomfang som har betydning for kostnaden. Dersom eier av betongkonstruksjonen ved fastprisforespørsel velger å ikke angi type prøver og prøveomfang, må det som minimum angis i tilbudsforespørselen at tilbudet må inneholde en beskrivelse av hvilke prøver og hvilket prøveomfang som ligger til grunn for tilbudet. Dette for at eier av betongkonstruksjonen skal vite hva tilbudet faktisk omfatter for dermed å kunne sammenligne tilbudene. Et alternativ til et rent fastpristilbud, kan være en kombinasjon av en fastprisdell supplert med en del som reguleres etter oppgitte enhetspriser, f.eks. enhetspriser for ulike målinger og undersøkelser. Dersom undersøkelsene avdekker behov for større prøveomfang, godtgjøres dette etter oppgitte enhetspriser for ulike undersøkelser.

Lov om offentlig anskaffelser [9] med tilhørende forskrift om offentlige anskaffelser [10] regulerer offentlige anskaffelse innenfor bygg- og anleggssektoren, og må benyttes av det offentlige ved engasjering av firmaer til gjennomføring av tilstandsanalyser. Forskriften beskriver oppbygging av konkurransegrunnlag og hvordan konkurransen skal gjennomføres. Når det gjelder anskaffelser i privat sektor, kan tilbudsforespørsel for tilstandsanalyse bygges opp iht. NS 3450 [11]. Denne standarden definerer regler for oppbygging, innhold og redigering av konkurransegrunnlag.

2. Metodikk

2.1 Faseinndeling

Gjennomføring av en tilstandsanalyse vil bestå av flere faser – programfase, planleggingsfase, undersøkelsesfase, vurderingsfase og rapporteringsfase. Metodikken er vist skjematisk på figur 2.2. En god arbeidsmetodikk sikrer at arbeidet og beslutninger gjøres i riktig rekkefølge og i tilstrekkelig omfang fra planlegging til rapportering.

Gjennomført og dokumentert tilstandsanalyse vil være grunnlaget for både prosjektering og utførelse av tiltak for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner.



Figur 2.1 Betongkonstruksjon med behov for tilstandsanalyse (Foto: Norconsult AS)

2.2 Programfase

I programfasen defineres formål med tilstandsanalysen, omfang av tilstandsanalysen og analysenivå.

Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner er ikke entydig definert. Når en skal utføre en tilstandsanalyse, er det viktig å sikre at det er samsvar mellom byggherrens/oppdragsgivers intensjon med tilstandsanalysen og inspektørens oppfatning av formål og hensikt med tilstandsanalysen.

Før en går i gang med tilstandsanalysen, er det derfor svært viktig at rammene for tilstandsanalysen er definert mht. formål og omfang. En befaring i forkant vil ofte være hensiktsmessig for å kunne vurdere både formål og omfang for tilstandsanalysen. Det er også viktig å få avklart om det er noen

kostnadsbegrensninger for gjennomføring av tilstandsanalysen, da det kan påvirke omfang av prøvetaking.

Formålet med tilstandsanalysen vil være bestemmende for omfanget av både undersøkelser og vurderinger. Med omfang tenker en først og fremst på fysisk avgrensning, med andre ord om tilstandsanalysen skal utføres på flere konstruksjoner, hele konstruksjonen eller deler av konstruksjonen som f.eks. balkonger, dekker, etc. Omfanget av tilstandsanalysen er også avhengig av typer og antall prøver/analyser.

Formålet med en tilstandsanalyse kan være svært forskjellig, som f.eks.:

- generell vurdering av tilstanden
- undersøkelse av om tidligere påviste skader er videreutviklet
- detaljert kartlegging av tilstanden og beskrivelse av aktuelle utbedringstiltak
- overordnet kartlegging av tilstanden som grunnlag for utarbeidelse, planlegging, budsjettering og prioritering av vedlikeholds- og utbedringstiltak for en portefølje av konstruksjoner
- påvisning av begynnende skadeutvikling og vurdering av behov for preventive tiltak
- nærmere undersøkelse av skader/nedbrytningsmekanismer påvist på lavere nivå
- utarbeidelse av opplegg for videre analyser på høyere nivå
- kartlegging av tilstanden ved kjøp og salg eller ved verdivurdering/takst
- fremskaffing av dokumentasjon i forbindelse med rettstvister

En grundig vurdering av formålet med tilstandsanalysen er viktig og dermed bestemmende for valg av analysenivå, men også omfang av prøvetaking. De ulike analysenivåene er nærmere beskrevet i kapittel 3.

Formålet med tilstandsanalysen, valgt analysenivå og prøveomfang er bestemmende både for tid og kostnader for gjennomføring av tilstandsanalysen.

Hvilke konsekvenser som skal vurderes i forbindelse med tilstandsanalysen, vil være avhengig av formålet med analysen. Allerede ved definering av oppgaven må det derfor tas stilling til hvilke konsekvenser som skal vurderes ved gjennomføring av tilstandsanalysen.

Programfasen skal (bør) resultere i et mandat eller program for tilstandsanalysen. Dette vil bidra til at bestiller av tilstandsanalysen og den som utfører tilstandsanalysen får en felles forståelse av hva tilstandsanalysen skal omfatte. Dette gjør det også lettere å vurdere kostnader for tilstandsanalysen og en vil få sammenlignbare priser ved tilbudsinnhenting.

2.3 Planleggingsfase

Planleggingsfasen omfatter alt forberedende arbeid som må gjøres for å kunne gjennomføre tilstandsanalysen i henhold til forutsetningene.

Planleggingsfasen vil omfatte:

- innhenting av grunnlagsmateriale
- utarbeidelse av plan for gjennomføring av tilstandsanalysen
- vurdering av behov for utstyr og tilkomstutstyr, enten det er over vann eller i vann
- valg av lokaliseringssystem
- vurdering av HMS-tiltak ved gjennomføring av tilstandsanalysen
- definering av referansenivå for vurdering av tilstandsgrad
- tidsplan

Innhenting av mest mulig relevant informasjon og dokumentasjon om den eksisterende betongkonstruksjonen er viktig, fordi dette kan påvirke valg av undersøkelse/prøvetaking, prøveomfang og prøvested. Med god dokumentasjon kan prøveomfanget i mange tilfeller reduseres.

I forbindelse med kulturminner er innhenting av historisk dokumentasjon svært viktig, fordi det vil ha stor betydning for valg av tiltak for beskyttelse og reparasjon. Innhenting av grunnlagsmateriale er nærmere omtalt i kapittel 4.1.

Ved planlegging av undersøkelser og analyser, er det en fordel om en først kan få overblikk over skadetyper og -årsaker for deretter å bestemme nødvendige undersøkelser og prøveomfang. Dette vil bidra til at prøveprogrammet ikke blir overdimensjonert.

Utarbeidelse av plan for gjennomføring av tilstandsanalysen er nødvendig for at den skal kunne gjennomføres på en effektiv og sikker måte. Dette omfatter bl.a. kartlegging og vurdering av alle stedlige forhold som har betydning for gjennomføring av tilstandsanalysen som behov for tilkomstutstyr, prøvetakingsutstyr, sikringstiltak, varsling og kunngjøringer, etc. Dette er nærmere omtalt i kapittel 4.2 og 4.3.

For å kunne dokumentere hvor på betongkonstruksjonen det er påvist skader eller foretatt prøvetaking, er det som regel hensiktsmessig at en i forkant av feltarbeidet har definert et lokaliseringssystem og utarbeidet registreringsskjemaer, slik som omtalt i kap. 4.5. I denne fasen defineres dessuten referansenivået som skal legges til grunn ved vurdering av tilstandsgrad, ref. kap.4.4.

Ved gjennomføring av tilstandsanalyser kan inspektøren utsettes for betydelig risiko ved bruk av diverse utstyr og arbeid i høyden, i og nær vann, i trafikkerte områder, nær strømførende ledninger, etc. Planleggingsfasen må derfor omfatte en kartlegging av alle risikoforhold og faremomenter og deres konsekvenser for de ulike arbeidsoperasjonene ved tilstandsanalysen. I tillegg må en vurdere og beskrive tiltak for å fjerne eller kontrollere identifiserte risikoforhold. Dette er nærmere omtalt i kapittel 4.6.

Ved planlegging av tilstandsanalysen er det nødvendig med en tidsplan. Det må gjøres avtale med oppdragsgiver for tidspunkt og varighet av inspeksjonen. Dette er spesielt viktig ved tilstandsanalyse av konstruksjoner i områder med begrenset tilgang. Dette kan være industriområder eller langs jernbanen der en er avhengig av stans enten i produksjon eller togtrafikken for å kunne gjennomføre feltarbeidet.

I enkelte tilfeller kan det også være behov for å ha med seg andre aktører ved tilstandskontrollen. Dette kan være oppdragsgivers representant, antikvar, sikkerhetsvakt, klatrere, dykkere, liftsjåfør, entreprenør osv. Det kan også hende at en tilstandsvurdering går over flere dager slik at ulike arbeidsoperasjoner gjøres på ulike tidspunkt. I slike tilfeller er det nødvendig med en detaljert tidsplan for arbeidet, som viser når og hvor de ulike aktørene skal være til stede. En god tidsplan gjør tilstandskontrollen mer effektiv og man viser respekt for andres tid.

2.4 Undersøkelsesfase

Undersøkelsesfasen omfatter alt felt- og laboratoriearbeid samt beskrivelse av tilstanden. Tilstandsregistrering baseres på visuell kontroll. Under den visuelle kontrollen registreres alle skader/skadesymptom – det totale skadeomfanget. Enkeltskader kan klassifiseres med en tilstandsgrad kun basert på visuelle observasjoner. En må da være forberedt på at tilstandsgraden vil måtte korrigeres noe når resultater fra felt- og laboratorieprøver foreligger. Gjennomføring av visuell kontroll er nærmere beskrevet i kap.5.

Denne fasen vil også omfatte prøvetaking i felt samt uttak av prøver for analysering i laboratorium. Type prøving og prøveomfang vil fremgå av utarbeidet prøveprogram. Aktuelle metoder for undersøkelser i felt og laboratorium er beskrevet nærmere i henholdsvis kap. 7 og 8. Valg av prøvested og prøveomfang er omtalt i kapittel 6.

Under den visuelle kontrollen kan en risikere å avdekke forhold som gjør at en må revidere inspeksjonsprogrammet. Det kan være endringer i det planlagte opplegget og omfanget av prøvetaking. Endringer må avklares og godkjennes av oppdragsgiver før endringen utføres.

Undersøkelsesfasen kan deles i flere trinn, avhengig av hvordan man velger å legge opp prøveprogrammet. Dette styres bl.a. av tilgang til konstruksjonen. Dersom det ikke er mulig å ha gjentakende befaringer, må alle undersøkelser og prøveuttak gjøres samlet, med fare for å få en for begrenset eller for omfattende undersøkelse. Omfang av laboratorieanalyser kan alltid justeres i etterkant av undersøkelse.

2.5 Vurderingsfase

I vurderingsfasen sammenstilles alle visuelle observasjoner og alle måleresultat fra felt- og laboratorieundersøkelser slik at en kan vurdere mulig skadeårsak, skadekonsekvens (konsekvensgrad) og risiko. Med bakgrunn i dette foretas så en vurdering av aktuelle strategier for forvaltning av betongkonstruksjonen for at den skal kunne oppfylle sin funksjon innenfor konstruksjonens brukstid. Dette er omtalt i kap.10.

Valg av forvaltningsstrategi må ses opp mot konstruksjonens brukstid. Forvaltningstrategien kan være å forhindre og redusere ytterligere nedbrytning eller forsterke, reparere eller beskyttelse hele eller deler av konstruksjonen. For valg av tiltak må en vurdere prinsipp og tilhørende metoder for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjonen. Dette er nærmere omtalt i kap.11.

For de aktuelle utbedringstiltakene, vurderes hvilke konsekvenser de ulike tiltakene vil medføre, som f.eks. tekniske, økonomiske, vedlikeholdsmessige, estetiske, miljømessige og antikvariske konsekvenser.

Denne fasen vil også omfatte vurdering av konsekvenser av skadene dersom utbedringstiltak ikke utføres. I tillegg kan det også være aktuelt å vurdere gjenværende brukstid for betongkonstruksjonen.

Resultatet av vurderingsfasen vil være en beskrivelse av aktuelle metoder for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjonen med anbefaling om valg av metode samt tidspunkt for når tiltak bør utføres.

2.6 Rapporteringsfase

Utført tilstandsanalyse må alltid dokumenteres med en tilstandsrapport. Tilstandsrapporten skal bl.a. beskrive forutsetninger for tilstandsanalysen, registrerte skader, resultat av utførte målinger/undersøkelser, konstruksjonens tilstand, tilstandens konsekvenser, valgt forvaltningsstrategi samt nødvendige utbedringstiltak med tilhørende kostnadsoverslag. Dette er nærmere omtalt i kap.12.

Tilstandsrapporten vil være et beslutningsgrunnlag for bestiller og vil ofte også inngå som et saksdokument ved søknad om midler til gjennomføring av tiltaket. I tillegg vil tilstandsrapporten inngå i grunnlaget for videre prosjektering og oppdragsgivers FDV-dokumentasjon for konstruksjonen.

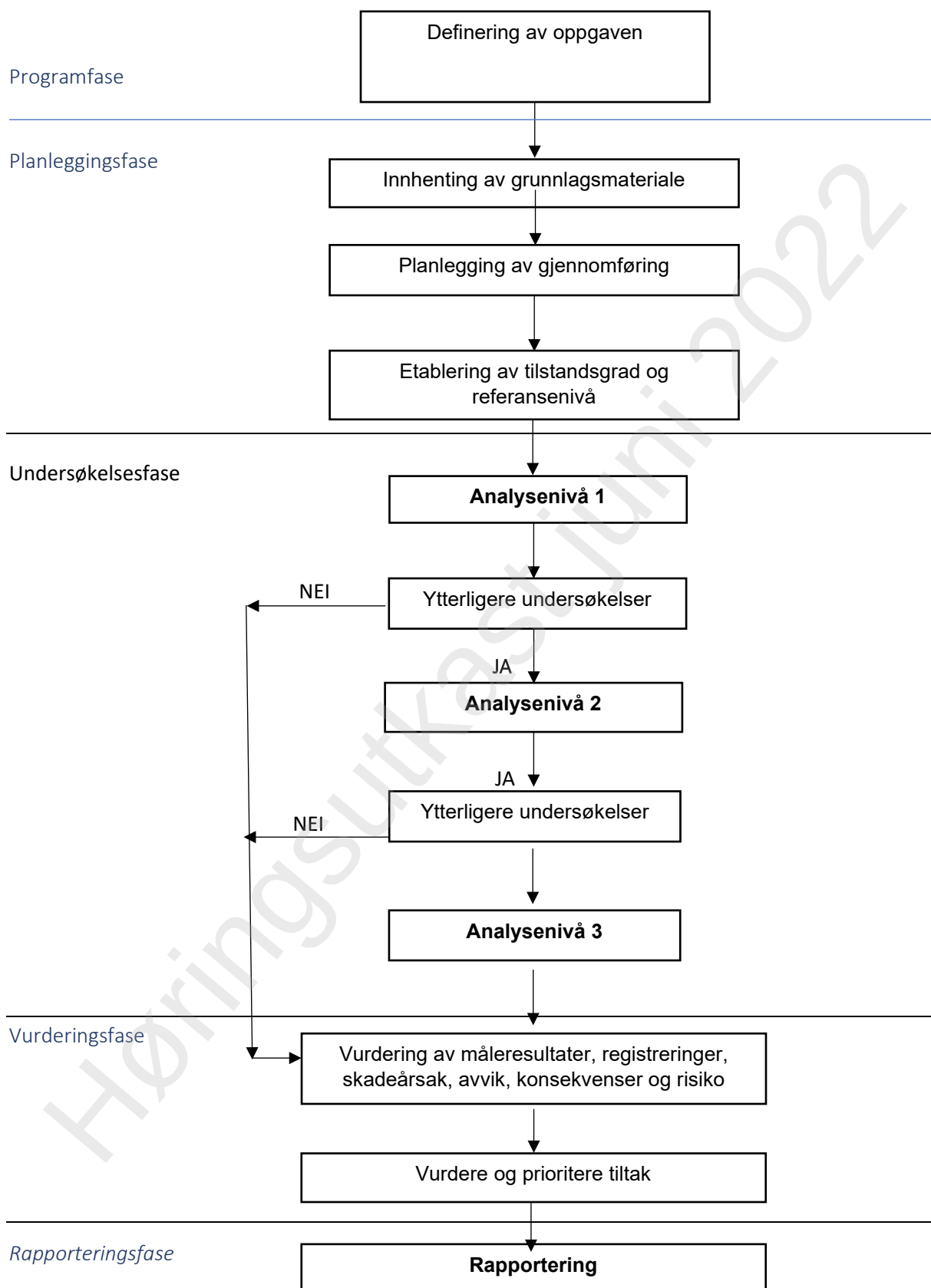


Fig.2.2 Metodikk for tilstandsanalyse

3. Analysenivå

3.1 Analysenivåer

Formålet med en tilstandsanalyse er bestemmende for både omfanget av undersøkelser og vurderinger som må utføres. Derfor er det i NS 3424 [3] definert tre analysenivåer som spenner fra de enkle og visuelle til de mer komplekse undersøkelsene. Dette har også vært bakgrunnen for at det i tidligere bransjenorm for tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner, den såkalte RIF-normen [12] er definert tre analysenivåer. I denne sammenheng kan også nevnes at Statens vegvesen i Håndbok V441 Bruinspeksjon [13] har definert tre analysenivåer helt i samsvar med forannevnte – enkel inspeksjon, hovedinspeksjon og spesialinspeksjon.

I den internasjonale standarden ISO 16311-2 [2] er det derimot kun definert to analysenivåer – preliminær undersøkelse og detaljert undersøkelse. Det er med andre ord ikke samsvar mellom NS 3424 [3] og ISO 16311-2 [2].

Selv om ISO 16311-2 har definert to analysenivåer, har vi i denne publikasjonen valgt å definere tre analysenivåer, fordi dette vil være i samsvar med NS 3424 og etablert praksis gjennom mange år i bransjen. Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner utføres derfor på følgende nivåer:

- Nivå 1 – enkel tilstandsanalyse
- Nivå 2 – utvidet tilstandsanalyse
- Nivå 3 – omfattende tilstandsanalyse

Med bakgrunn i formålet med tilstandsanalysen og sannsynlig (antatt) eller kjent årsak til skader/nedbrytningen, velges hensiktsmessig analysenivå. Selv om formålet med en tilstandsanalyse skulle tilsi en analyse på nivå 2, vil det i mange sammenhenger være fornuftig å først gjennomføre en analyse på nivå 1 for å begrense omfanget til de deler av konstruksjonen der det faktisk er nødvendig med en analyse på nivå 2.

Omfattende tilstandsanalyse på nivå 3 bør som regel aldri utføres før det er gjennomført en utvidet tilstandsanalyse (nivå 2). En slik undersøkelse vil avdekke hvor det er behov for supplerende undersøkelser på nivå 3 og i hvilket omfang.

For betongkonstruksjoner der tilstanden ikke er kjent, vil det som regel være fornuftig å begynne med en tilstandsanalyse på nivå 1 for å avdekke og kartlegge behovet for supplerende undersøkelser på høyere nivå.

3.2 Nivå 1- enkel tilstandsanalyse

En enkel tilstandsanalyse omfatter kun visuell undersøkelse av betongkonstruksjonen. Formålet med en enkel tilstandsanalyse kan være:

- gjennomføring av rutineinspeksjon for enten å påvise begynnende skadeutvikling eller følge med videreutvikling av oppståtte skader
- undersøkelse av om det er oppstått alvorlige skader som på kort sikt kan påvirke bæreevne, trafiksikkerhet eller vedlikehold
- overordnet vurdering av tilstanden og mulig skadeårsak ut fra visuelle observasjoner
- vurdering av behov for supplerende undersøkelser og utarbeidelse av plan for videre analyser på høyere nivå (med tilhørende kostnader)
- vurdering av behov for preventive tiltak
- planlegging av vedlikehold

- utarbeidelse av grovt kostnadsoverslag for supplerende undersøkelser eller rehabiliteringsbehov

Tilstandsanalysen omfatter en visuell undersøkelse av betongkonstruksjonen uten bruk av omfattende tilkomstutstyr, dvs. med noe avstand til konstruksjonen. Den visuelle undersøkelsen kan utføres fra bakkenivå, fra tilgjengelige steder på konstruksjonen som balkonger, tak, etc., ved bruk av båt, kikkert eller drone. Analysen vil normalt ikke inkludere undersøkelser på utilgjengelige steder på konstruksjonen. Det viktigste instrumentet ved gjennomføring av en enkel tilstandsanalyse er øyet, noe som underbygger betydningen av mye erfaring.

Visuell undersøkelse utføres for å få en overordnet kartlegging av synlige skader og skadesymptom som riss, sprekker, avskallinger, bom, armeringskorrosjon, rustflekker, setninger, forskyvninger og malingsavflassing. De visuelle observasjonene dokumenteres med foto. Den visuelle undersøkelsen suppleres med noe bomkontroll.

Dersom tilstandsanalysen avdekker behov for supplerende undersøkelser, bør det utarbeides en beskrivelse av hvilke supplerende undersøkelser som bør utføres. Dette kan byggherren så legge til grunn for budsjettering og/eller innhenting av tilbud på utførelse av tilstandsanalysen.

Dersom analysen avdekker skader eller en tilstand som representerer en umiddelbar fare for personsikkerhet (f.eks. ved nedfall av løse betongbiter), trafiksikkerhet eller konstruksjonssikkerhet, skal dette varsles umiddelbart til oppdragsgiver/byggherre med forslag til tiltak som må iverksettes.

3.3 Nivå 2 – utvidet tilstandsanalyse

En utvidet tilstandsanalyse omfatter en visuell undersøkelse av betongkonstruksjonen supplert med et begrenset omfang av målinger og materialundersøkelser.

Formålet med en utvidet tilstandsanalyse kan være:

- kontroll av om konstruksjonen kan oppfylle sin funksjon
- kartlegging av skadeårsak, skadeomfang og skadekonsekvens
- undersøkelse av om skader er under fortsatt utvikling – videreutviklet
- analysering av risiko
- vurdering av aktuelle beskyttelses- og reparasjonstiltak
- fremskaffing av nødvendig underlagsmateriale for prosjektering av beskyttelses- og reparasjonstiltak
- vurdering av behov for supplerende undersøkelser
- utarbeidelse av plan for videre analyser på høyere nivå
- utarbeidelse av detaljert kostnadskalkyle for aktuelle beskyttelses- og reparasjonstiltak samt eventuelle supplerende undersøkelser
- utarbeidelse av langtidsbudsjett for reparasjon og vedlikehold

Det utføres en grundig visuell undersøkelse av flatene på hele betongkonstruksjonen for å kartlegge skader og avdekke skadesymptom. Dette krever normalt bruk av tilkomstutstyr for å få nødvendig nærhet til betongoverflaten for å kunne kartlegge og avdekke begynnende skader og skadesymptom. Undersøkelsen krever normalt at en kan komme til betongoverflatene med en armlengdes avstand. Dette er først og fremst viktig for kritiske konstruksjonsdeler. De visuelle observasjonene dokumenteres med foto.

Når det gjelder bruk av tilkomstsutstyr, kan det være bruk av lift, stillaser, flåter, pontonger, båt, klatrestyr og drone. Ulik tilkomstsutstyr er nærmere omtalt i kapittel 4.3.



Figur 3.1 Inspeksjon av bru med brulift (Foto: Norconsult AS)

Ved utvidet tilstandsanalyse utføres et begrenset omfang av målinger og materialundersøkelser, der materialundersøkelser først og fremst omfatter metoder for feltundersøkelser og i liten grad laboratorieundersøkelser. Aktuelle undersøkelser i felt er beskrevet i kapittel 7 og aktuelle laboratorieundersøkelser er beskrevet i kapittel 8.

Dersom analysen avdekker skader som representerer fare for redusert bæreevne (konstruksjonssikkerhet), må en vurdere om det er behov for kontroll av bæreevnen. Kontroll av bæreevne inngår normalt ikke i tilstandsanalysen på nivå 2, men kan inngå i analysenivå 3, dersom dette er spesielt angitt. Skader som representerer en umiddelbar fare for personsikkerhet (f.eks. ved nedfall av løse betongbiter), trafiksikkerhet eller konstruksjonssikkerhet skal varsles umiddelbart til oppdragsgiver/byggherre med forslag til akutte tiltak som må iverksettes.

Dersom tilstandsanalysen på analysenivå 2 avdekker behov for supplerende undersøkelser, bør det utarbeides en plan som beskriver type og omfang av supplerende undersøkelser. Denne planen kan byggherren legge til grunn for budsjettering og/eller innhenting av tilbud på utførelse av supplerende undersøkelser - analysenivå 3.

3.4 Nivå 3 – omfattende tilstandsanalyse

En omfattende tilstandsanalyse omfatter normalt en mer detaljert undersøkelse av deler av betongkonstruksjonen der det på lavere analysenivå er avdekket behov for både supplerende og mer omfattende undersøkelser. Tilstandsanalyse på nivå 3 vil normalt medføre et større omfang av målinger og materialundersøkelser.

Formålet med en omfattende tilstandsanalyse kan være:

- grundigere kartlegging og undersøkelse av skader/nedbrytningsmekanismer påvist på lavere analysenivå
- kartlegging av skadeomfang
- vurdering av skadeårsak og skadekonsekvens
- analysering av risiko
- vurdering og beskrivelse av nødvendige utbedringstiltak
- kontroll av bæreevne for hele eller deler av konstruksjonen

Ved omfattende tilstandsanalyse utføres visuell kontroll på samme nivå som ved utvidet tilstandsanalyse (nivå 2). Nærheten til betongkonstruksjonen og bruk av tilkomstsutstyr blir som for analysenivå 2.

Ved omfattende tilstandsanalyse utføres stort omfang av målinger og materialundersøkelser - både destruktive og ikke-destruktive undersøkelser. På analysenivå 3 benyttes undersøkelsesmetoder som vil medføre betydelig inngrep i konstruksjonen bl.a. ved uttak av materialprøver og opphugginger. Det kan være aktuelt å utføre et betydelig omfang av laboratorieundersøkelser som både er kostbare og ressurskrevende. En omfattende tilstandsanalyse vil omfatte et utvidet omfang av målinger og materialundersøkelser utført på analysenivå 2. Aktuelle undersøkelser som utføres ved omfattende tilstandsanalyse er beskrevet i kapittel 7 og 8. I tillegg vil analysenivå også kunne omfatte oppmåling av geometri som grunnlag for vurdering av bæreevne/ konstruksjonssikkerhet.

Dersom utførte tilstandsanalyser på lavere nivå har avdekket skader som representerer fare for redusert bæreevne (konstruksjonssikkerhet), kan kontroll og vurdering av bæreevnen (konstruksjonssikkerheten) inngå i omfanget/ytelsen for omfattende tilstandsanalyse. Det må da være avtalt på forhånd at en slik vurdering skal inngå i ytelsen for tilstandsanalysen.

På samme måte som for øvrige analysenivå, har inspektøren en varslingsplikt dersom tilstandsanalysen på nivå 3 avdekker forhold eller skader som representerer en umiddelbar fare for person-, trafikk- og konstruksjonssikkerhet.

4. Planlegging av tilstandsanalysen

4.1 Innhenting av grunnlagsmateriale

4.1.1 Dokumentasjon om betongkonstruksjonen

Før en planlegger gjennomføring av tilstandsanalysen, bør det fremskaffes mest mulig relevant dokumentasjon om betongkonstruksjonen. Siden analysenivå 1 normalt bare omfatter visuelle observasjoner, vil behovet for dokumentasjonsmaterialet være begrenset på dette analysenivået. Behovet for dokumentasjonsmateriale er først og fremst nødvendig for analysenivå 2 og 3. Normalt er det oppdragsgivers ansvar å fremskaffe denne dokumentasjonen, men dette kan også være en del av oppdraget med gjennomføring av tilstandsanalysen. Ved å fremskaffe denne dokumentasjon vil en bl.a. kunne:

- få god innsikt i konstruksjonens materialer, oppbygging og bæresystem
- avdekke kritiske og spesielt utsatte konstruksjonsdeler
- få oversikt over utført vedlikehold, tidligere rehabilitering og ombygging
- få oversikt over om det har vært endret bruk, miljøeksponering eller ulykker
- få et bedre grunnlag for valg av undersøkelsesmetoder og prøvesteder
- redusere prøveomfanget, fordi kunnskapen om konstruksjonen er større når dokumentasjon foreligger enn om den ikke foreligger

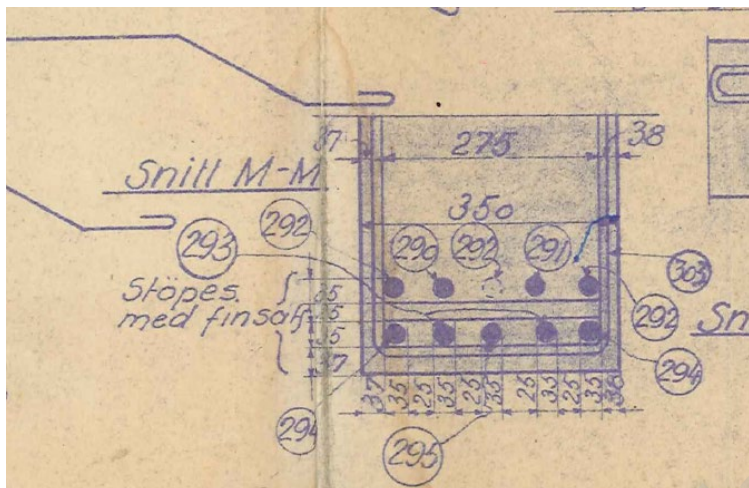
Følgende dokumentasjonsmateriale er relevant:

- tidligere standarder for prosjektering, utførelse og materialer som var gjeldende da betongkonstruksjonen ble bygd
- opprinnelige form- og armeringstegninger
- statiske beregninger og lastforutsetninger
- beskrivelse av grunnforholdene (geoteknisk rapport)
- anbudsbeskrivelser
- blanderresepter og støpeprotokoller
- kontroll- og prøvingsrapporter fra byggefasen
- måleprogrammer for nedbøyninger og setninger
- byggemøtereferater
- tidligere tilstandsanalyser
- byggesaksdokumenter
- fotodokumentasjon fra byggefasen og utført vedlikehold/reparasjoner
- beskrivelse av tidligere utførte vedlikeholds-, rehabiliterings- eller ombyggingsarbeider
- dokumentasjon om bruksendring eller endret belastning
- dokumentasjon om ulykker (påkørselskader, granatangrep, etc.)
- dokumentasjon om endret miljøeksponering

Dokumentasjon fra prosjekterings- og byggefasen kan være svært mangelfull, men selv begrenset dokumentasjon kan gi verdifulle opplysninger for gjennomføring av tilstandsanalysen. I forbindelse med tilstandsanalyser i vann vil fundamenttegnninger kunne gi svært nyttig informasjon for planlegging av dykkerarbeidet.

Mange har erfart at det er vanskelig å få oppdragsgiver til å fremskaffe ønsket dokumentasjon. Slike forespørsler besvares ofte med at det ikke finnes noe dokumentasjon. Erfaringsmessig viser det seg at mange ikke tar seg bryet med å undersøke grundig nok i egne arkiver. Det kan derfor være lurt å

etterspørre dokumentasjonen på nytt, fordi det i mange tilfeller har vist seg at de likevel finner noe dokumentasjon. Det kan ligge store kostnadsbesparelser i å fremskaffe denne dokumentasjonen, fordi prøveomfanget kan reduseres. I mangel på dokumentasjon kan det være lurt å ta kontakt med kommunen, fordi det viser seg at mange kommuner har arkiver med mye god dokumentasjon fra byggefasen – spesielt for en del eldre konstruksjoner.



Figur 4.1 Eksempel på dokumentasjon (armeringstegning) som viser utstøping i underkant bjelke med finsatts

4.1.2 Historisk kildemateriale ved vern/fredning

I forbindelse med tilstandsanalyse av verneverdige eller fredede betongkonstruksjoner er det viktig å få avklart formålet og omfanget av vernet eller fredningen, da det vil påvirke innhold, omfang og gjennomføring av tilstandsanalysen. Formålet med fredningen eller vernet begrunner hvorfor betongkonstruksjonen har kulturhistorisk og arkitektonisk verdi.

Det er svært viktig at det innhentes mest mulig historisk dokumentasjon om konstruksjonen, fordi det har betydning for gjennomføring av tilstandsanalysen samt anbefaling av utbedringstiltak.

Følgende informasjon og kildemateriale er relevant:

- originaltegninger, beregninger og fotografier
- historisk kildematerialer i årsskrift, bøker, mm
- historisk kildemateriale i form av materialprøver/-analyser
- tegningsmateriale som viser endringer over konstruksjonens brukstid
- dokumentasjon og rekkefølge i utvikling av tiltak og endringer utført på konstruksjonen
- informasjon fra offentlige register og databaser som f.eks. Askeladden kulturminnedatabase, kirkebyggdatabasen til KA, etc.
- rapporter om kulturminner innenfor ulike sektorer som f.eks. kulturminner i norsk kraftproduksjon
- informasjon fra kulturmiljøforvaltningen
- tidligere tilstandsanalyser
- bevaringsprogram
- verneplaner
- anbefalinger, pålegg og instruksjoner fra nasjonale eller regionale myndigheter
- eventuelle dispensasjonssøknader

Ved tilstandsanalyser av vernede og fredede betongkonstruksjoner er det svært viktig at det etableres god dialog med kulturmiljøforvaltningen så tidlig som mulig, slik at en får en felles forståelse av behov for nødvendig prøveomfang, type prøvetaking samt prøvested.

4.2 Plan for gjennomføring av tilstandsanalysen

Med bakgrunn i formålet med tilstandsanalysen, analysenivå og innhentet grunnlagsmateriale, utarbeides en plan for gjennomføring av tilstandsanalysen. For å kunne utarbeide en plan for gjennomføring av tilstandsanalysen, må en kartlegge og identifisere alle forhold som har betydning for gjennomføring av analysen. Det er i denne sammenheng en fordel om det i forkant er foretatt en befaring av konstruksjonen, for å bli kjent med alle stedlige forhold som kan ha betydning for gjennomføring av tilstandsanalysen. Befaring i forkant er svært viktig ved tilstandsanalyser i vann for å få oversikt over forholdet rundt konstruksjonen mht. synktømmer, omfang av gjenstående forskaling og bunnmasser (løsmasser eller stein) rundt fundamentene, strømning, utstikkende jern og konstruksjonsdeler som må fjernes av sikkerhetsmessige hensyn, behov for tilkomstutstyr, etc.

Relevante forhold som må kartlegges og avklares for å kunne utarbeide en gjennomføringsplan:

- vurdering av tilkomstmuligheter og valg av tilkomstutstyr til konstruksjonen (se kap.4.3.1)
- riggbehov (brakke, toalett, etc.)
- utstørsbehov (se kap.4.3.2)
- behov for arbeidsvarsling
- behov for merking, avsperring, skilting, midlertidig stengning, etc.
- behov for trafikkdirigering eller lysregulering
- behov for ekstra arbeidslys
- tilgang til strøm og vann
- støy- eller støvbegrensninger
- arbeidstidsbegrensninger
- tidevannsbegrensninger
- vannføring
- siktforhold i vannet
- behov for lys/undervannslys
- hensyn til rutetider for kollektive transportsystemer
- fremkommelighet for utrykningskjøretøy
- tidsbegrensninger overfor pågående aktivitet/virksomhet i eller omkring konstruksjonen
- hensyn til luftledninger (elektriske), kabler og kommunale VA-ledninger
- omfang av og type prøvetaking samt valg av prøvesteder
- intern og ekstern varsling
- valg av lokaliseringssystem for angivelse av skader og prøvesteder (se kap. 4.5)
- utarbeidelse av registreringsskjemaer
- behov for dispensasjonssøknad for uttak av prøver/prøvetaking på kulturminner
- helse, miljø og sikkerhet (se kap.4.6)

Ved utarbeidelse av plan for gjennomføring av tilstandsanalysen er vurdering av tidsbruk viktig. Tidsbruken vil bl.a. være avhengig av siktforhold, nattarbeid, tidsbegrensninger ift. rutetider (for tog, buss og ferjer), etc. Tilstandsundersøkelser på utvendige betongkonstruksjoner bør fortrinnsvis utføres ved oppholdsvær, i dagslys og med god utetemperatur. Utetemperaturen eller temperaturen på betongkonstruksjonen bør ikke være lavere enn +5°C, fordi det ellers lett vil kunne oppstå feil og unøyaktighet i måleresultatene. Når det gjelder undersøkelser i vann, vil tidspunkt for

undersøkelsene være avhengig av reguleringstidspunkt (i vassdrag), vannføringen (i elver), flo og fjære, strømning og siktforhold i vannet. Undersøkelsene bør fortrinnsvis utføres på et tidspunkt, dersom det er mulig, når strømning eller vannføring er minst og sikten er best. Sikten er bl.a. avhengig av algeoppblomstringen.

Omfanget av og type prøvetaking og materialundersøkelser er avhengig av analysenivå. Kapittel 3 beskriver hvilke undersøkelser/målinger en kan forvente inngår i tilstandsanalyser på de ulike analysenivåene. Ved planlegging av tilstandsanalyser må en vurdere hvilke undersøkelser/målinger som må utføres og i hvilket omfang.

Med bakgrunn i gjennomgang av grunnlagsmaterialet og forventet eksponering for ulike nedbrytningsmekanismer, utarbeides en plan for prøvetaking. Planen skal beskrive type prøving/måling, prøveomfang og prøvested. Selv om det er laget en plan for prøvetaking i forkant for feltarbeidet, kan en risikere at det under feltarbeidet avdekkes forhold som vil kreve revidering/endring av prøveprogrammet mht. prøvested, prøveomfang og behov for andre undersøkelser.

Omfanget av feltundersøkelser og laboratorieundersøkelser representerer den store kostnaden ved gjennomføring av tilstandsanalyser. Dette kan ofte bli begrensende og bestemmende mht. prøveomfanget. Det er likevel viktig at omfanget av prøver og analyser er stort nok til å kunne kartlegge skadeårsak og skadekonsekvens.

Registreringsarbeidet medfører innsamling av store mengder data. For å holde orden på dataene, vil det være hensiktsmessig å utarbeide skisser for registrering av lokalisering av skader/skadesymtom og prøvesteder samt skjemaer for registrering av alle måleresultater i felt. Dette er nærmere omtalt i kapittel 4.5.

4.3 Tilkomstutstyr og utstysbehov

4.3.1 Tilkomstutstyr

Når en skal undersøke en betongkonstruksjon, er det viktig å bruke egnet tilkomstutstyr slik at en får effektiv og sikker tilgang til betongkonstruksjonen for nødvendige undersøkelser og prøvetaking. På analysenivå 1 vil det i liten grad være behov for tilkomstutstyr, men på analysenivå 2 og 3 er det nødvendig med tilkomstutstyr for å få nærhet til konstruksjonen for å få utført nødvendige undersøkelser/prøvetaking. De stedlige forholdene vil ha avgjørende betydning for valg av tilkomstutstyr. Elektriske ledninger og høyspentanlegg i nærheten av konstruksjonen vil ha konsekvenser både for valg og bruk av tilkomstutstyr. Det samme vil også være tilfelle med hensyn til trafikkavvikling – enten det er på vei, jernbane eller vann/sjø. Ved å velge riktig tilkomstutstyr, vil en kunne redusere ulemper ved trafikkavvikling. I tillegg vil fare for flom og ras også kunne påvirke valg av tilkomstutstyr.

Aktuelt tilkomstutstyr vil være bruk av stige, lift, båt, flåte/pontong, hengstillas, stillaser, klatreutstyr og eventuelt drone. Ved bruk av alt utstyr skal det dokumenteres at operatøren av utstyret har fått nødvendig sikkerhetsopplæring i bruk av utstyret. Arbeidstilsynet har utarbeidet et eget temablad for arbeid i høyden [14].

Stiger bør bare unntaksvis brukes ved arbeid i høyden, når det ikke vil være hensiktsmessig å bruke annet og sikrere arbeidsutstyr, fordi risikoen er liten og bruken av stigen er kortvarig. Det skal ikke brukes frittstående stiger som er høyere enn 6 meter [8]. Frittstående kombistiger skal ikke brukes høyere enn 4 meter [6]. Stigen må stå på stabilt underlag og være sikret mot utglidning, velting sidelengs og bakover. Ved bruk av stige må inspektøren aldri arbeide alene.

Når det gjelder bruk av lift, finnes en rekke typer lifter med kurver/plattformer som beveger seg på bakkenivå og som kan manøvreres med kurver/plattformer både oppover (over bakkenivået) og nedover (under bruer). I kurven er det normalt plass til to personer med utstyr, mens plattformene har betydelig større plass. De vanligste liftene er sakselift, kurvlift til å frakte med bil, selvgående lift og lift montert på lastebil. Ved all bruk av lift skal det dokumenteres at operatøren har fått nødvendig opplæring i bruk av utstyret. Dette dokumenteres med kompetansebevis/sertifikat for bruk av utstyret. I tillegg skal selve liften være sertifisert. Ved bruk av alle typer lift er stabilt og bæredyktig underlag helt nødvendig. Krav til bruk av lift (personløfter) er nærmere beskrevet i temaveiledning fra arbeidstilsynet [15].



Figur 4.2 Selvgående lift [16]

Sakseliftene har forholdsvis stor arbeidsplattform med strømmuttak og kan bevege seg både horisontalt og vertikalt. Det finnes sakselifter med rekkevidde opp til 26 m. Sakselifter har begrenset bruk, fordi de krever et plant underlag. Sakselift kan være et alternativ ved inspeksjon av f.eks. fasader og konstruksjoner der det er helt plant foran eller rundt konstruksjonen.

Kurvlift som fraktes med personbil er noe mer fleksibel enn sakselift, fordi det ikke kreves så plant underlag og en kan få inspisert større flater på betongkonstruksjonen uten å måtte flytte liften. Disse liftene har varierende rekkevidde i høyden.

Kurvlift montert på lastebil har desidert størst rekkevidde både vertikalt og horisontalt. Disse kurvliftene består enten av to eller tre bommer. Liftene kan manøvreres vertikalt både oppover og nedover, og de er svært stabile (stødige). En del av disse har støttebein. Bredden på liftene når støttebeina er ute kan være begrensende for bruk f.eks. på smale bruer. For brulifter der kjøretøyet står på brua, kan kurven/plattformen kjøres ned under brua. Det finnes underbrolifter med arbeidsplattform på over 12 m. På de fleste liftene er det normalt uttak for strøm, lys og sambandsutstyr i kurven/plattformen. Valg av brulift må tilpasses brutype, brubredde, rekkverk, master, høyde på pilarer og bæreevne. Brulift kan også benyttes på andre typer konstruksjoner. Ved inspeksjon av fagverksbruer, hengebruer, koblingsanlegg til trafostasjoner er det viktig med gode manøvreringsmuligheter for å få nødvendig nærhet og tilgang til betongkonstruksjonen.



Figur 4.3 Kurvlift (Foto: Stærk & Co as)



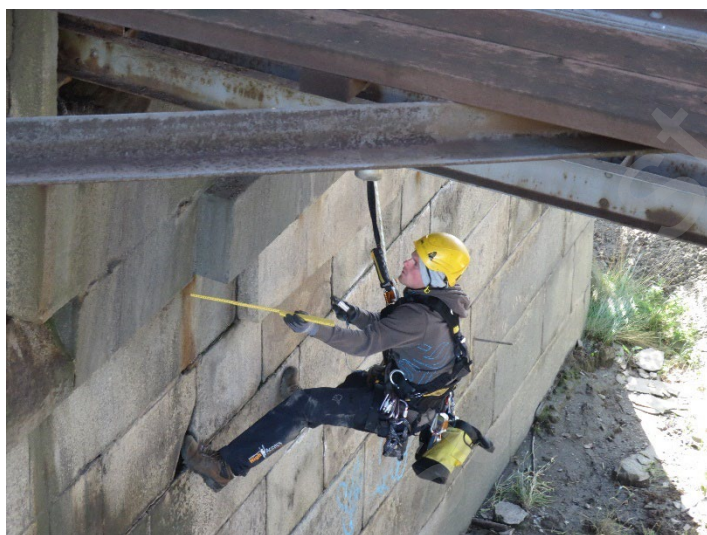
Figur 4.4 Bruk av underbrolift (Foto: Norconsult AS)

Båt benyttes ofte som tilkomstutstyr under mindre kaier og bruer og ved undersøkelser av konstruksjoner i vann. Det er som regel krevende å arbeide fra en båt, fordi den er svært følsom overfor bølger og strømninger. Da er det mer stabilt å bruke flåter eller pontonger. Ulempen med disse er at de er tunge å manøvrere, men fordelene er mindre følsomhet for bevegelser i vannet og god arbeidsplattform. For å unngå horisontale forflytninger mens undersøkelsene pågår, må båten, flåten eller pontongen låses i posisjon med forankringstau til konstruksjonen.

Hengestillaser kan også være et alternativ der bruk av lift ikke er mulig. For noen eldre konstruksjoner er det opprinnelig tilrettelagt for bruk av hengestillaser ved montering av festekroker.

Tradisjonelle klatrestillaser er lite benyttet ved tilstandsanalyser av betongkonstruksjoner, men er benyttet der andre alternativer ikke fungerer eller er aktuelle. Stillasene skal tilfredsstille Arbeidstilsynets krav [17] og monteres av godkjent/kvalifisert personell.

Bruk av klatreutstyr er godt egnet som tilkomstutstyr der tilgjengeligheten er vanskelig. Inspeksjon med klatreutstyr er mye brukt på oljeplattformer og i noen grad på bruer og master. Ved bruk av klatrere til inspeksjon skal operatør og sikringsleder være sertifisert iht. NS 9600 [18] og [19].



Figur 4.5 Inspeksjon ved bruk av klatreutstyr (Foto: Norconsult AS)

Bruk av droneteknologi er blitt stadig mer benyttet i forbindelse med inspeksjoner. Bruk av droner er meget effektivt, fordi en får god og rask nærhet til konstruksjonen til å kunne foreta god kartlegging av synlige tegn til skader/skadesymptom. I tillegg oppnår en god dokumentasjon av registreringene. Krav til dronebruk og operatør av droner er regulert av forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord [20].



Figur 4.6 Inspeksjon ved bruk av drone (Foto: Norconsult AS)

Ved undersøkelser i vann vil aktuelt tilkomstutstyr være lekter, båt og stillaser. Dykkerne bør slippes ut i vannet så nærme konstruksjonen som mulig. Dette kan enkelt gjøres fra enten båt eller lekter. Stillaser kan bygges i vann og vil være nødvendig når en skal benytte sandblåsnings- eller høytrykkspylertstyr. Ved undersøkelser i vann må det benyttes dykkere med godkjent dykkerkompetanse. Dette er nærmere omtalt i kapittel 1.3.2. Krav ved dykking er nærmere beskrevet i [6] og [21]. Visuell undersøkelse i vann kan også utføres med ROV-utstyr.

4.3.2 Utstyrsbehov

Omfanget av nødvendig inspeksjons- og prøvetakingsutstyr for å kunne utføre tilstandsanalysen er avhengig av analysenivå samt hvilke undersøkelser/prøvetaking som skal foretas. Behovet er minst ved en enkel tilstandsanalyse. Brukere av utstyret skal ha gjennomgått nødvendig opplæring i bruk av utstyret [22].

Ved en enkel tilstandsanalyse (analysenivå 1) vil det normal bare være behov for følgende utstyr:

- fotoapparat (stillbilder eller film)
- kikkert, alternativt drone
- murhammer
- tommestokk/målebånd/laser
- kritt eller tusj for merking

Ved en utvidet tilstandsanalyse (analysenivå 2) og omfattende tilstandsanalyse (nivå 3) vil det normalt være behov for følgende utstyr:

- fotoutstyr (stillbilder eller film)
- undervannskamera ved undersøkelser av konstruksjoner i vann

- murhammer
- tommestokk/målebånd/laser
- kritt eller tusj for merking
- kniv for prøvetaking av malingsfilm, fugemasse, etc.
- lys/undervannslys
- rissviddemåler
- overdekningsmåler
- skyvelære
- prellhammer
- slagbormaskin for uttak av borstøv for kloridanalyse
- plastposer for oppsamling av borstøv
- elektrisk meislemaskin
- vinkelsliper
- fenolftalein-/tymolftaleinløsning for påvising av karbonatiseringsdybde
- utstyr for måling av heftfasthet
- voltmeter med kabler for måling av armeringskontinuitet
- utstyr for EKP-måling
- utstyr for uttak av borkjerner
- nivelleringsutstyr (ved setningskontroll)
- folie og plastposer for pakking av borkjerner/materialprøver
- evt. spesialutstyr for ulike målemetoder
- eventuelt strømaggregat
- førstehjelpsutstyr

Ved inspeksjoner i vann vil det kunne bli behov for ekstra utstyr for fjerning av gjenstående forskaling slik at det er mulig å undersøke konstruksjonen. Det kan da bli behov for brekkjern, øks, spett eller hydraulisk utstyr for å fjerne forskalingen. Dersom forskalingen fungerer som ishus, må det monteres ny ishud etter utført inspeksjon. På betongkonstruksjoner med mye begroing og rur, må dette fjernes slik at betongoverflaten kan undersøkes. Sandblåser- eller høytrykkspylertutstyr benyttes for å fjerne rur, begroing og slamhud på betongoverflaten. I tillegg kan det være aktuelt med sugeutstyr for å fjerne bunnmasser rundt fundamentene for å få nødvendig tilgang til å undersøke betongkonstruksjonen. Visuell undersøkelse av betongkonstruksjoner i vann kan også utføres ved bruk av mindre ROV-utstyr. ROV er en fjernstyrt undervannsfarkost som brukes til visuell inspeksjon og filming av konstruksjonen.

For tilstandsanalyser på alle nivåer må en ha med skrivesaker, skriveunderlag, registreringsskjemaer og relevante tegninger. Det bør alltid benyttes vannfaste skrivesaker, slik at en unngår å miste registreringsdata, dersom registreringspapirene skulle bli våte eller falle i vannet.

4.4 Etablering av tilstandsgrad og valg av referansenivå

For å kunne klassifisere skader på en ensartet måte, benyttes begrepet tilstandsgrad (TG) slik det er definert i NS 3424 [3]. Tilstandsgraden er et uttrykk for hvilken tilstand konstruksjonen eller konstruksjonsdelen befinner seg i forhold til et gitt referansenivå.

Tilstandsgraden kan fastsettes ut fra en samlet vurdering av visuelle observasjoner og måleresultat for hele betongkonstruksjonen eller deler av betongkonstruksjonen som f.eks. vegger, dekker, søyler, pilarer, etc. Tilstandsgraden kan også benyttes for klassifisering av enkeltstående skader/skadesymtom. Om tilstandsgrad skal klassifiseres for hele eller deler av konstruksjonen eller

for enkeltskader vil i stor grad være avhengig av formålet med tilstandsanalysen og analysenivået. Dette må defineres før en går i gang med tilstandsanalysen.

Det benyttes fire tilstandsgrader, slik som definert i tabell 4.1.

Tabell 4.1 Definisjon av tilstandsgrader

Tilstandsgrad TG	Tilstand i forhold til referansenivået for hele eller deler av en konstruksjon	Tilstand i forhold til enkeltskade	Betydning
TG 0	Ingen avvik	Ingen skader/ skadesymptom	Tilstanden tilsvarer valgt referansenivå. Ingen tegn til avvik eller skader
TG 1	Mindre eller moderate avvik	Liten skade/svake skadesymptom	Betongkonstruksjonen er vedlikeholdt, men har fått normal slitasje/nedbrytning uten utvikling av vesentlige skader eller avvik ift. referansenivået.
TG 2	Vesentlig avvik	Middelstor skade/ skadesymptom	Betongkonstruksjonen er nedbrutt og har vesentlig skader eller vesentlig reduisert funksjon ift. referansenivået – redusert levetid.
TG 3	Store eller alvorlig avvik	Stor skade/kraftig skadesymptom	Skadene eller avvikene er så store at det er fare for funksjonssvikt eller fare for liv og helse. Behov for strakstiltak.
TGIU	Ikke undersøkt		Konstruksjonen er ikke undersøkt, fordi den ikke har vært tilgjengelig for inspeksjon.

Referansenivået for bestemmelse av tilstandsgraden må defineres i hvert enkelt tilfelle, men for tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner vil normalt tilstanden og/eller forskriftskravene på byggetidspunktet være referansenivået. Det betyr at referansenivået defineres som tilstandsgrad 0 (TG 0). Dersom tilstanden er dårligere enn referansenivået, defineres det som avvik i NS 3424 ved bruk av tilstandsgrad alt avhengig av om avviket er mindre, vesentlig eller alvorlig.

Bruk av tilstandsgrad er en svært nyttig måte å klassifisere enkeltskader på, dersom det gjennomføres inspeksjoner av betongkonstruksjoner ved jevne intervaller. Ved å sammenligne resultater fra ny og tidligere analyser, vil en kunne se endring i skadeutviklingen.

Tilstandsgraden kan bestemmes enten ut fra kun visuelle observasjoner eller i kombinasjon med måleresultat. Dette må være klart definert i det enkelte prosjekt.

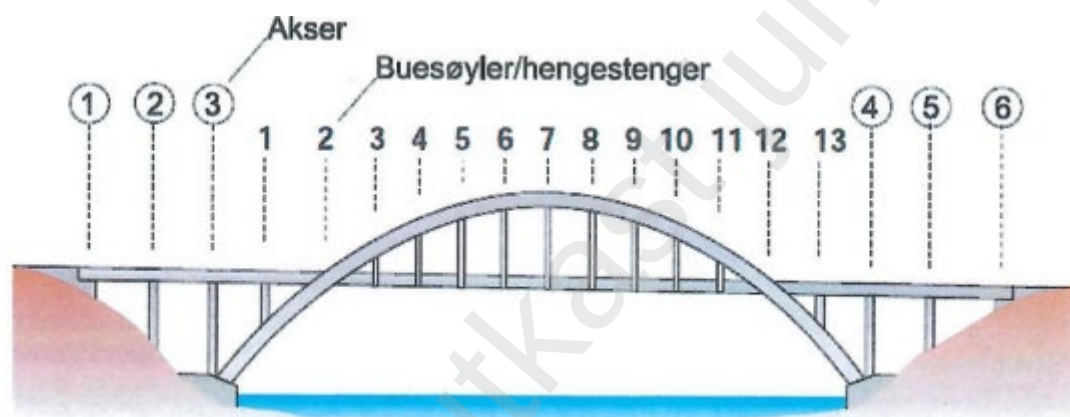
4.5 Lokaliseringssystem

For å kunne entydig angi og dokumentere hvor på betongkonstruksjonen det enten er registrert skader /skadesymptom eller utført målinger/prøvetaking, er det nødvendig med et lokaliseringssystem. Et slikt system vil gjøre registreringsarbeidet både lettere, enklere og mer oversiktlig. Dessverre finnes ikke noe standardisert lokaliseringssystem for ulike typer konstruksjoner, slik at det ofte blir opp til den enkelte inspektør å definere sitt eget lokaliseringssystem. Statens vegvesen har derimot definert et entydig lokaliseringssystem for å

beskrive lokalisering av skader, målinger og materialundersøkelser ved inspeksjon av bruer. Dette er nærmere beskrevet håndbok V441 til Statens vegvesen [13].

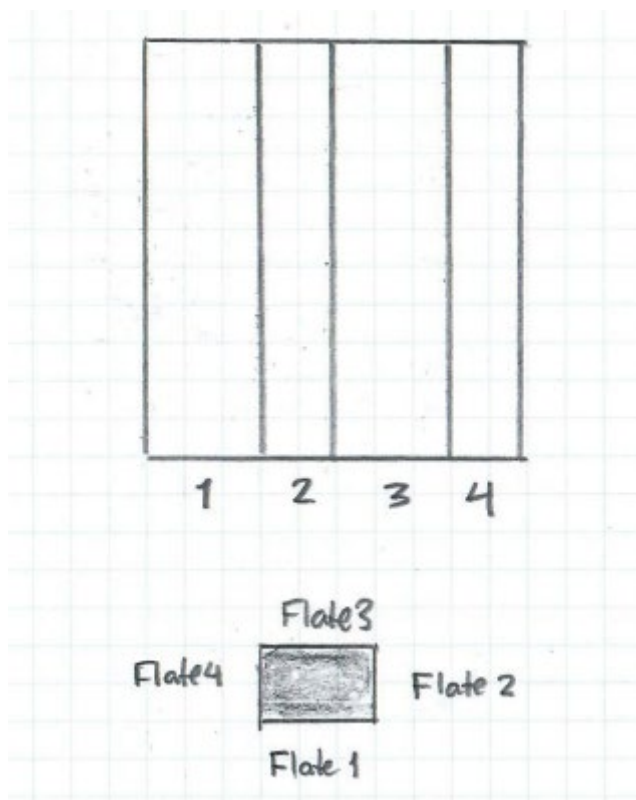
Generelt kan en bruke den opprinnelige akseinndelingen for konstruksjonen enten det gjelder bruer, kaier eller bygninger. Vertikale akser angis med tall, fra 1 og oppover, fra venstre mot høyre eller fra lavest kilometrering mot økende kilometrering. For kaidekker kan en benytte opprinnelig aksesystem i begge retninger. Ved manglende aksesystem kan det etableres et aksesystem for tilstandsanalysen. For en fasade for gitt himmelretning eller nærmere angitt veggflate kan en enten velge et lokaliseringssystem der horisontalaksen består av aksenummer eller lengde fra venstre mot høyre og vertikalaksen består av etasjeskiller eller høyde fra terreng.

I håndbok V441 til Statens vegvesen [13] er det angitt at alle bruer skal inndeles i akser for hvert landkar og hver pilar. Akse 1 skal være ved landkar med lavest kilometer i forhold til kilometreringen på veien. Hovedregelen er at akseinndelingen skal være som benyttet på konstruksjonstegninger eller ferdigbrutegningen. Når det gjelder akseinndeling for de ulike brutypene henvises til nevnte håndbok. Alle tverrsnitt for bruer tegnes slik de ser ut i stigende akseretning.



Figur 4.7 Akseinndeling for en bru

Bjelker og søyler angis enten med tall- eller bokstavnummer som angis på plantegning. Bjelkeflatene (sideflater og underside) brettes ut. Sideflatene kan enten angis som høyre og venstre side sett mot stigende aksenummer, nedstrøms eller oppstrøms eller med himmelretning alt avhengig av hvilken konstruksjon bjelken er på.

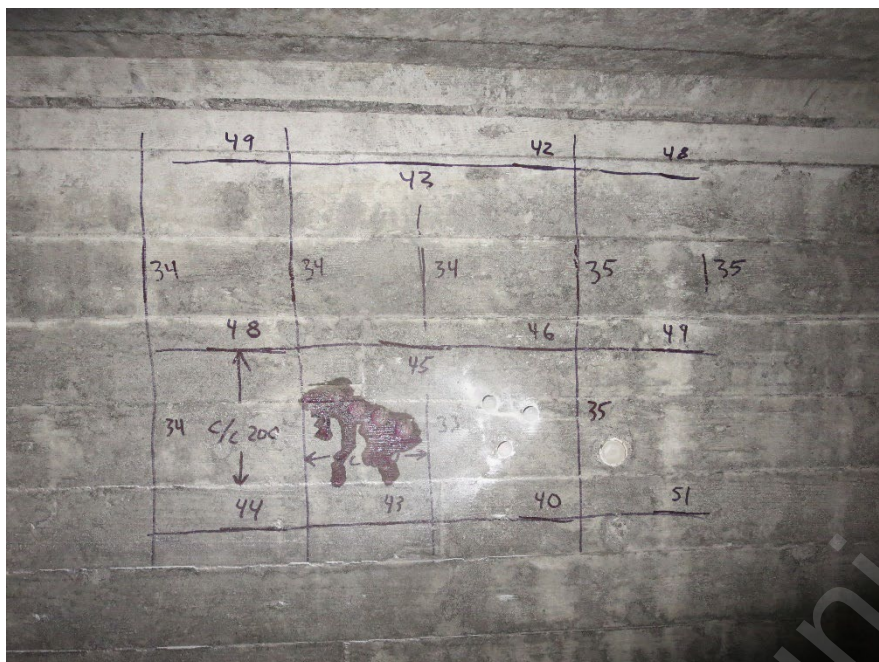


Figur 4.8 Utbrettet flate for en søyle eller pilar

Rektangulære søyler og pilarer og frittstående veggskiver angis med nummer eller aksereferanse og brettes ut. Flatene nummeres med lavest nummer mot syd, lavest kilometrering eller lavest aksenummer og med økende nummer med urviseren. På sirkulære tverrsnitt kan en benytte klokkeskiva, slik at klokka 6 er mot syd, lavest kilometrering eller lavest aksenummer.

Overnevnte er eksempler på lokaliseringssystemer som kan benyttes. Dette kan gjøres på mange andre måter også. Det viktigste er at det velges et oversiktlig lokaliseringssystem for registrering og lokalisering av skader/skadesymptom og prøvesteder før en går i gang med feltarbeidet, slik at en unngår å gå i surr med registreringene. På den måten vil en hele tiden ha kontroll på lokalisering av alle skader/skadesymptom og prøvesteder.

Type skader/skadesymptom samt deres utbredelse kan merkes på skisser eller utbrettstegninger ved bruk av symboler som omtalt i kapittel 5. Når det gjelder steder hvor det tas prøver på konstruksjonen, merkes de med kryss og angis med prøvenummer på skissene. Lokaliseringen målsettes slik at det er lett i etterkant å påvise prøvesteder og skader. Type prøver utført på de ulike prøvestedene kan angis med koder som angitt i figur 5.25.



Figur 4.9 Skisse som viser oppmerking av prøvested (Foto: Norconsult AS)

4.6 Sikkerhet, helse og arbeidsmiljø

Sikkerhet, helse og arbeidsmiljø er svært viktig ved gjennomføring av tilstandsanalyser. For å sikre at hensynet til arbeidstakers helse, miljø og sikkerhet blir ivaretatt ved tilstandsanalyser, må arbeidsgiver iht. Arbeidsmiljøloven [23] sørge for at det utføres systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid på alle plan i virksomheten. Iht. Internkontrollforskriften [24] plikter arbeidsgiver å ha et internkontrollsystem som sikrer at målene i helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen oppnås ved systematisk oppfølging.

Det betyr at bedriften må ha rutiner for hvordan de ulike arbeidene ved tilstandsanalyse skal utføres, f.eks. rutiner for bruk av vinkelsliper, rutiner for meisling, rutiner for bruk av slagbormaskin, rutiner for bruk av lift, rutiner for bruk av verneutstyr, etc. Inspektøren skal ha fått nødvendig sikkerhetsopplæring i bedriften både når det gjelder verne- og sikkerhetsutstyr og bruk av maskiner og prøvetakingsutstyr [22].

I denne sammenheng kan det også være på sin plass å gjøre oppmerksom på at inspektøren (arbeidstakeren) iht. Arbeidsmiljøloven skal medvirke til utforming, gjennomføring og oppfølging av virksomhetens systematiske helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid. Vedkommende skal aktivt medvirke ved gjennomføring av de tiltak som blir satt i verk for å skape et godt og sikkert arbeidsmiljø, bruke påbudt verneutstyr, vise aktsomhet og ellers medvirke til å hindre ulykker og helseskader. Inspektøren skal straks underrette arbeidsgiver og verneombud når vedkommende blir oppmerksom på feil eller mangler som kan medføre fare for liv eller helse. Arbeidstakeren (inspektøren) plikter å avbryte arbeidet dersom vedkommende mener at inspeksjonen ikke kan fortsette uten å medføre fare for liv eller helse.

Inspektøren er pålagt bruk av verneutstyr [25]. Følgende verne-/sikkerhetsutstyr er aktuelt:

- hjelm
- vernesko

- vernetøy (arbeidstøy) – bukse og jakke med sikkerhetsfarger, refleks og firmalogo. Ved kortvarig opphold i trafikkerte områder kan det også benyttes vest med sikkerhetsfarger, logo og refleks
- ved arbeid nær høyspentanlegg skal benyttes flammehemmende arbeidstøy (inkludert undertøy)
- vernehansker
- kuttsikre vernehansker ved kutting
- øyevern (ved boring, meisling og skjæring)
- hørselvern (ved støyende arbeider)
- åndedrettsvern (ved støvende arbeider og ved fare for gass/damp)
- godkjent redningsvest (ved arbeid i båt, på flåte og nær vann/elvefar)
- støvler og vadeutstyr ved arbeid i vann
- fallsikringsutstyr (ved arbeid i master og høyden der en ikke er sikret på annen måte)
- godkjent dykkerutstyr
- sambandsutstyr (ved arbeid der synlig kontakt er vanskelig, f.eks. i kulverter og tanker)
- gassmåler (ved inspeksjon i gjødselkjeller, siloer, tanker, kulverter, renseanlegg, etc.)

Alt utstyr skal være CE-merket. På anleggsområder/byggeplasser eller i bedrifter der det er utarbeidet egne rutiner for bruk av verne-/sikkerhetsutstyr, må disse i tillegg følges. Det skal kun brukes lift som er sertifisert og godkjent. Dette må kontrolleres før bruk.

Under tilstandsanalysen skal enkelt førstehjelpsutstyr være lett tilgjengelig.

Før en går i gang med feltarbeidet i forbindelse med en tilstandsanalyse, bør det alltid utføres en risikovurdering for kartlegging av alle risikoforhold og konsekvenser ved de ulike arbeidsoperasjonene ved tilstandsanalysen samt beskrivelse av tiltak for å fjerne eller kontrollere risikoforholdene. Med bakgrunn i risikovurdering utarbeides sikker-jobb-analyser (SJA). Eksempler på risikoforhold som foreligger ved gjennomføring av feltarbeid:

- kuttskader ved bruk av kniv og vinkelkutter
- hørselskader pga. bruk av støyende utstyr
- øyeskader ved bruk av vinkelkutter, slagbormaskin, meisling eller bruk av kjemikalier
- etseskader fra betong og kjemikalier
- påkjørselskader på trafikkert vei og jernbane
- gassforgiftning i gjødselkjeller og lange kulverter
- fall fra høyden
- fall i sjøen/elvefar
- strømgjennomgang ved arbeid nær strømførende ledninger
- nedfall av betongbiter ved meisling
- stige eller lift på sviktende underlag

I forbindelse med arbeid nær strømførende ledninger skal ledningseier varsles dersom det er fare for at en kommer nærmere enn 30 m til høyspenningslinje. Ledningseier vil da vurdere hvilke tiltak som må iverksettes for å kunne tillate arbeid nærmere strømførende ledning.

Ved arbeid nær jernbanelinjer og arbeid nærmere enn 30 m fra kontaktledningsanlegget for jernbanen skal Bane Nor kontaktes. Bane Nor vil da vurdere hvilke tiltak som skal iverksettes. Det er ikke tillatt å bevege seg på egenhånd på Bane Nor sine anlegg uten godkjent sikkerhetskurs og sikkerhetsvakt fra Bane Nor.

Arbeidsområdet under der en foretar prøvetaking i høyden, må avsperras og merkes slik at nedfall av betongbiter ved meisling eller utstyr ikke representerer fare for personskader på tredjeperson eller gjenstander. Avsperring av området er også viktig for å sikre inspektøren f.eks. ved påkjørsel mot lift, etc.

I trafikkerte områder skal en opptre med omtanke og forsiktighet. Arbeidene skal utføres iht. Statens Vegvesens Håndbok N301 for arbeidsvarsling [26]. Det betyr at det skal foreligge godkjent varslingsplan og være truffet nødvendig skiltvedtak. Det skal være utpekt en ansvarshavende for gjennomføring av varslingsplanen. Arbeidsområdet skal skiltes og merkes med synlig sperremateriell for sikring av personell og utstyr. Det skal benyttes arbeidstøy/vest med sikkerhetsfarger og refleks iht. krav fra Statens vegvesen.

Ved inspeksjon av gjødselkjellere, kloakkrenseanlegg og kloakkpumpestasjoner skal det alltid være to personer til stede i tilfelle en uønsket hendelse skulle inntre. Begge personer skal hele tiden være i nærheten av hverandre og ha øyekontakt. Før en går i gang med arbeidet, skal det tas gassmålinger (f.eks. CO, metan, ammoniakk og hydrogensulfid) for å sikre at det er forsvarlig å gå inn i anlegget for å utføre nødvendige undersøkelser. Inspektøren bør hele tiden ha på seg gassmåler som varsler kritisk gassinhold for evakuering samt gassmaske. I tillegg må inspektøren ha fått tilbud om nødvendige vaksiner. Enkelte oppdragsgivere stiller krav om at personellet skal være vaksinert.

Ved arbeider der det kan være fare for drukning, fall, oksygenmangel i luft, farlig gasskonsentrasjoner skal minst en person tillegges oppgave som sikkerhetsvakt med nødvendige hjelpemidler og førstehjelpsutstyr tilgjengelig.

Ved arbeid i høyden skal det benyttes fallsikring (sele), dersom en ikke er sikret på annen betryggende måte. Ved arbeid/inspeksjon i vann, sjø, basseng, vannførende kulverter og elvefar, skal det alltid være to personer til stede. Det skal alltid benyttes redningsvest og livline og løftesele skal være tilgjengelig. I regulerte vassdrag skal vassdragsregulanten kontaktes for å avklare om det er forsvarlig å gå ut i vassdraget.

I forbindelse med tilstandsanalyse på trafostasjoner og andre konstruksjoner med strøm/spenning kan det ikke utføres undersøkelser eller prøvetaking før anlegget er spenningsløst. På trafostasjoner får en ikke tilgang til konstruksjonen før leder for sikkerhet i kraftselskapet har gitt klarsignal. Leder for sikkerhet skal være til stede hele tiden.

Ved undersøkelse i vann skal det alltid foretas en kartlegging av de farer og problemer dykkeren kan bli utsatt for. Dykkeoperasjonene skal risikovurderes, planlegges, og tiltak iverksettes slik at dykkeoperasjonen kan utføres sikkert med hensyn til hvilke farer som oppdraget kan medføre for dykkeren og andre involverte. Ved risikovurderingen skal det legges vekt på alle omkringliggende forhold som kan ha betydning for dykkeoperasjonen. Arbeider i vann med dykkere skal utføres iht. forskriften om utførelse av arbeider [8]. Med bakgrunn i risikovurderingen skal det utarbeides sikkerhetsprosedyrer for utførelse av arbeidene, og det skal utarbeides en skriftlig arbeidsinstruks for arbeidet som skal utføres på betongkonstruksjonen i vann. Instruksen skal blant annet beskrive arbeidsoppdraget, fremgangsmåten for sikker gjennomføring, spesielle forhold som kan påvirke den aktuelle dykkeoperasjonen, hvilke sikkerhetstiltak som skal iverksettes samt kvalifikasjoner dykkerteamet må ha for sikker gjennomføring av oppdraget.

Ut fra sikkerhetsmessige hensyn bør det alltid være to personer til stede under feltarbeidet som hele tiden har øyekontakt med hverandre. I enkelte tilfeller vil det kunne være nødvendig med flere personer der øyekontakt kan være vanskelig, f.eks. i lange kulverter og rørgater.

5 . Tilstandsregistrering – visuell kontroll

Den visuelle undersøkelsen er en meget viktig del av tilstandsanalysen, og utgjør en stor andel av arbeidet i felt. Det viktigste instrumentet ved visuell kontroll er inspektørens øyne. Inspektørens kompetanse og erfaring har derfor stor betydning for vurdering av det registrerte skadebildet samt valg av prøvested..

Alle tilstandsundersøkelser bør starte med en visuell kontroll. Den visuelle kontrollen utføres av alle overflater til de konstruksjoner som inngår i tilstandsundersøkelsen. Den visuelle kontrollen vil danne grunnlag for endelig valg av prøvesteder for feltundersøkelser. Under registreringsarbeidet kan det hende at det avdekkes forhold som krever andre undersøkelser enn de en hadde forutsatt på forhånd. Nye undersøkelser og utvidet prøveomfang må varsles og godkjennes av oppdragsgiveren før arbeidet utføres.

Under registreringen må det vurderes om valgt analysenivå er tilstrekkelig til å kunne oppnå formålet med tilstandsanalysen. Ved behov, må det gjøres endringer i planlagte undersøkelser underveis både med hensyn til type undersøkelser og omfang av de ulike undersøkelsene/prøvetaking.

Visuell kontroll bør foretas så nære konstruksjonen som praktisk mulig, fortrinnsvis så nære at man fysisk kan ta på betongoverflaten, men dette er ikke alltid praktisk mulig. Da kan bruk av kikkert eller dronofilming være nyttige hjelpemidler. Bruk av drone må avtales og godkjennes av grunneier.

Den visuelle kontrollen vil omfatte registrering av alle typer skader/skadesymptom på betongkonstruksjonen samt omfang og avgrensninger for skader/skadesymptom. Typiske skader/skadesymptom på betongkonstruksjoner er:

- riss og sprekker med eller uten utfellinger eller gel (mønster, vidde, dybde, retning)
- bom eller delamineringer (fast eller løs bom, synlige sjikt i betongen)
- avskalling i betongen eller puss/påstøp (tegn til korrosjon, dybde)
- armeringskorrosjon - overflatekorrosjon, groptæring, tverrsnittreduksjon på kritisk armering samt rustfarge (Svartrust har hatt lite tilgang på oksygen og sprenger relativt sett mindre enn brunrust som er det mest vanlige. Er rusten mer oransje tyder det på fersk rust og pågående korrosjon)
- karboniseringsdybde (karbonisert betong blir lysere/gulere sammenlignet med ukarbonisert betong. Fukting av betong fremhever fargeforskjellen)
- nedbøyning og forskyvning (vertikalt og horisontalt)
- utluting (ses som kalkbelegg på betongoverflaten)
- kalkutslag (ikke vannløselig belegg på overflate)
- saltutslag (vannløselig utfelling av krystaller)
- mekanisk skade (påkjørrel, støt eller følgeskade)
- slitasje – frilagt tilslag i overflaten (fra gjentakende belastning, typisk hjulspor som reduserer overdekningen)
- erosjon (typisk i rennende vann - sementlimet er vasket bort rundt tilslaget)
- forvitring/oppsmuldring (splittet tilslag - betongen kan graves ut)
- steinreir
- innstøpte fremmedelemerter (treklosser som suger vann, rester etter forskaling som reduserer betongoverdekningen)

- misfarging (rustfarge fra pågående armeringskorrosjon eller korrosjon på innstøpt stål, farge fra kobberbeslag, grafitti, forurensing)
- begroing (typisk alge eller mose, rur for konstruksjoner i vann)
- avflassing (flere sjikt, spor etter fukt, skitt eller utfellinger på betongoverflaten eller mellom sjiktene)
- knusing (overbelastning, påkjørsel)

Eksempler på skader/skadesymptom er vist på figur 5.1 til 5.24.

Under den visuelle kontrollen må både omfang og størrelse på skadene registreres. Ved kartlegging av sprekk-/rissvidder er det også viktig å kartlegge sprekk-/rissmønster og tilhørende lengde da det har betydning for vurdering av årsaken til sprekken/rissene.



Figur 5.1
Riss pga. rustsprengning. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 5.2
Riss pga. alkaliereaksjoner. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 5.3
Plastisk svinnriss. (Foto: Norconsult AS)



Figur 5.4
Krackelering og kalkutslag. (Foto: Norconsult AS)



Figur 5.5
Svinnsprekk. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 5.6
Skjærriss. (Foto: Norconsult AS)



Figur 5.7
For liten overdekning. (Foto: Norconsult AS)



Figur 5.8
Rustsprengning. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 5.9
Armeringskorrosjon pga. karbonatisering. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 5.10
Armeringskorrosjon pga. klorider. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 5.11
Pittingkorrosjon pga. klorider. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 5.12
Støpesår i vann. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 5.13
Utluting. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 5.14
Rustutslag samt riss med kalkutfelling. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 5.15
Fuktutslag. (Foto: WSP AS)



Figur 5.16
Rustutslag. (Foto: Norconsult AS)



Figur 5.17
Frostskader herdet betong. (Foto: Norconsult AS)



Figur 5.18
Frostskader fersk betong. (Foto: Norconsult AS)



Figur 5.19
Steinreir/støpesår. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 5.20
Sulfatangrep. (Foto: Norconsult AS)



Figur 5.21
Utførelsesfeil – snø i forskalingen. (Foto: Norconsult AS)



Figur 5.22
Erosjon. (Foto: Norconsult AS)



Figur 5.23
Fuktutslag, saltutslag og malingsavflassing. (Foto: WSP AS)



Figur 5.24
Malingsavflassing. (Foto: Stærk & Co as)

Når en registrerer skader/skadesymptom, kan en velge å angi tilstandsgrad under feltarbeidet eller etter at resultater for alle målinger og materialanalyser foreligger. Vurdering av tilstandsgrad under feltarbeidet baseres normalt kun på visuelle observasjoner. Tilstandsgrad kan angis for enkeltskader/skadesymptom, for den enkelte bygnings-/konstruksjonsdel eller for hele konstruksjonen. En tilstandsgrad fastsatt utelukkende utfra visuelle observasjoner kan måtte justeres når målinger og/eller analyseresultater foreligger. I tillegg til observerte skader, representerer ikke-undersøkte elementer og manglende dokumentasjon en usikkerhet, og skal alltid registreres og rapporteres.

Den visuelle kontrollen må utføres systematisk. Utføres tilstandsregistreringen av flere, anbefales det at man kalibrerer seg mht. fastsetting av tilstandsgrad for å få en enhetlig vurdering.

Alle observasjoner registreres i skjema og lokaliseres entydig ved avmerking på tegninger og/eller foto. Figur 5.25 viser forslag til symboler som kan benyttes ved registrering av skader/skadesymptom. Digitale verktøy som knytter bilder og informasjon til posisjoner på tegninger eller modeller kan forenkle systematiseringen av informasjon. Aktuelle verktøy i markedet er CHECKD, DALUX, Icontrol, StreamBIM, Inspect og Unizite.

For å kunne gjennomføre de vurderinger en tilstandsanalyse krever, trenger en mest og best mulig informasjon. Det er ikke alltid mulig å foreta flere befaringer, det er derfor avgjørende at en er grundig og systematisk i registreringen. Det kan medføre at man tilsynelatende samler informasjon som ikke er vesentlig, men som kan bli avgjørende når man skal sette sammen det store bildet med informasjon fra visuelle undersøkelser, felt- og laboratorieundersøkelser. Det kan aldri bli for mange foto fra en inspeksjon.

Hva er viktig å se etter når en foretar den visuelle kontrollen? Følgene forhold bør en ha fokus på:

- Er skaden gammel eller ny (Skarp risskant tyder på nye skade, mens rund og nedslitt risskant indikerer eldre skade. Maling i riss tyder på gammelt riss)
- Lokalisering av skaden (Hvor på konstruksjonen, eksponering for regn, sjøsprøyt, veisalt, vannavrenning, etc.)
- Innlysende skadeårsak (Liten overdekning, lekkasje, mekanisk skade, etc.)
- Hyppighet og omfang (Er det mange skader av samme type, er skadene store eller små)
- Systematikk (Opptre skadene/skadesymptomene på bestemte steder eller er det vilkårlig, lo-/leside, himmelretning, opptre skader der en forventer)
- Skjulte skader (Hva er sannsynlig i områder som ikke kan undersøkes)
- Er det en følgeskade, eller har skaden en følgeskade
- Kreves det felt-/laboratorieundersøkelser utover det planlagte for å foreta en vurdering
- Lokale miljøbelastninger

	Støpeskjøt
	Bom, avskallinger
	Porøs og dårlig betong
	Måleområde
	Riss < 0,2 mm
	Riss > 0,2 mm, < 2,0 mm
	Riss > 2,0 mm
	Krakelering
	Synlig korroderende armering
	Prøvested (Bk, Cp, Kd, Oh)
	Foto nr.3
	Område med overdekning under 10 mm
Kd3=5	Karbonatiseringsdybde lik 5 mm i målepunkt 3
Od	Overdekning
Cp2	Kloridprofil prøvested 2
Oh	Opphugging
Bk6	Borkjerne nr.6

Fig.5.25 Symboler som kan benyttes for å registrere og dokumentere skader/skadesymptom og prøvested på tegninger.

6 . Prøvetaking

6.1 Valg av prøvested og undersøkelser

Visuell kontroll alene er ikke tilstrekkelig for å kunne fastslå skadeårsak og skadekonsekvens. Den visuelle kontrollen må derfor suppleres med nødvendig prøvetaking og materialanalyser. Det er viktig at valg av prøvested og type undersøkelse/prøvetaking gir et representativt bilde av tilstanden til konstruksjonen.

Valg av prøvemetode bestemmes ut fra hvilke nedbrytende påkjenninger betongkonstruksjonen utsettes for samt hvilke konsekvenser disse kan ha for konstruksjonen.

Når man skal ta ut prøver eller foreta undersøkelser på betongkonstruksjonen for å kartlegge tilstanden, må en velge prøvesteder der en kan forvente en nedbrytende eksponering og med spesiell fokus på kritiske deler av konstruksjonen mht. bæreevne.

Ved valg av prøvested må en derfor vurdere miljøet betongkonstruksjonen står i og utsettes for - flo og fjære, lo- og le-side, skvalpesone, sjøvann/sjøsprøyt, veisalteksponering, kjemikaliepåkjenning, vindretning, frost, fuktighet, vannavledning, etc. Påkjenningen kan variere mye for de ulike konstruksjonsdelene (dekker, søyler, bjelker, rekkverk, fundamenter, etc.), men også innenfor samme konstruksjonselement (under og overside dekker, øvre og nedre del på vegger og søyler, underside og sidekant bjelker, etc). Forståelse for betongkonstruksjonens og konstruksjonselementenes eksponering for nedbrytende påkjenninger er helt avgjørende for valg av riktig prøvested for å få et riktig bilde av tilstanden for betongkonstruksjonen. Det er også viktig at det tas prøver på steder både med og uten synlige skader.

Lokalisering av alle prøvesteder må angis så nøyaktig som mulig slik at det er i etterkant er mulig å påvise prøvestedene eller ta ut nye prøver på samme sted for kontroll. Prøvestedene kan angis med referanse til et valgt lokaliseringssystem, ref. kap. 4.5. Prøvetaking er alltid beheftet med noe usikkerhet.

Et annen forhold en skal være klar over, er at det kan være store variasjoner i betongkvaliteten innenfor svært små områder, spesielt på eldre konstruksjoner. En liten vertikal eller horisontal forskyvning av et prøvested kan medføre at prøver tas fra en helt annen betongsats/betongblanding. Dette vil kunne gi store variasjoner i måleresultatene.

6.2 Valg av prøveomfang

Det er svært vanskelig å angi nødvendig prøveomfang i forbindelse med en tilstandsanalyse, fordi prøveomfanget vil være avhengig av type konstruksjon, nedbrytningsgrad, eksponering for nedbrytning og stedlige forhold. Prøvemengden og antall prøveuttak har stor innvirkning på analyseresultatet. Siden betongen er et inhomogent materiale bestående av sementpasta, filler og tilslag, kan en forvente store variasjoner i måleresultatene. Presisjon og nøyaktighet minsker derfor med avtakende prøvevolum. Prøveomfanget må være omfattende nok til å gi et representativt bilde av tilstanden. Dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle for den aktuelle betongkonstruksjonen.

Et begrenset antall prøver (4-5) er som regel ikke nok. For å kunne vurdere nødvendig prøveomfang for å få et representativt bilde av tilstanden, må betongkonstruksjonen helst befares på forhånd. Prøvetaking er alltid beheftet med en viss grad av usikkerhet. Det er derfor viktig at en sikrer seg et representativt utvalg av prøvesteder for å få kartlagt den faktiske situasjon. En må ha et realistisk bilde av behov og nytteverdi av målinger og undersøkelser – ikke minst også av hensyn til kostnader. Det er derfor motstridende interesser i forbindelse med bestemmelse av prøveomfanget for en tilstandsundersøkelse. Ofte vil man forsøke å begrense prøveomfanget av økonomiske årsaker,

samtidig som man er avhengig av et representativt utvalg prøver for å få et tilstrekkelig grunnlag for å vurdere den pågående skadeutviklingen. Det er alltid bedre med noen prøver for mye enn for få. Når en er i gang med prøvetaking i felt, bør en derfor alltid vurdere om planlagt prøvetaking er tilstrekkelig eller om det er behov for supplerende undersøkelser og utvidet prøveomfang.

Sammenstilling av måleresultater kan vise stor spredning i målingene. Variasjonsbredden i målingene er forskjellen mellom største og minste verdi. Ved stor spredning vil det være behov for supplerende målinger for å verifisere spredningen. Spredningen kan vurderes ved å beregne standardavviket for samtlige målinger. Dess større standardavviket er dess større spredning er det i måleresultatene. Standardavviket er kvadratroten av variansen, der variansen er summen av kvadrater av alle målingenes gjennomsnittsdifferanse dividert med det totale antall målinger. Standardavviket kan uttrykkes med følgende formel:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n}}$$

Ut fra en normalfordelingen vil det være 68,26 % sannsynlighet for at måleresultatene blir et sted mellom -1σ og 1σ (standardavvik), 95,46 % mellom -2σ og 2σ og 99,72 % mellom -3σ og 3σ .

6.3 Reproduserbarhet og repeterbarhet

«Reproduserbarhet uttrykker i hvilken grad gjentatte målinger på samme materiale og med samme målemetode stemmer over ens, når de utføres under varierende betingelser. De varierende betingelsene kan dreie seg om at målingene utføres i ulike laboratorier og med ulike personer som utfører målingene med forskjellig utstyr og ved forskjellig tidspunkt» [27].

Reproduserbarhet i forbindelse med prøvetaking ved tilstandsanalyser av betongkonstruksjoner er først og fremst mulig for analyser av uttatte materialprøver av betong, fordi prøven er fra nøyaktig samme sted. Siden betongen er et inhomogent materiale, vil større materialprøver gir større presisjonsnivå enn færre prøver. Reproduserbarhet oppnås da ved at det er presisjon under reproduserbare betingelser der samme prøve blir analysert med samme metode på forskjellige laboratorier med forskjellig utstyr og av forskjellige personer. Dette vil være noe vanskeligere for prøver utført i felt, fordi betongen er inhomogen og det vil være store variasjoner i betongkvalitet innenfor selv små områder, spesielt på eldre betongkonstruksjoner.

Når det gjelder repeterbarhet, defineres det som følger: «Repeterbarhet uttrykker i hvilken grad gjentatte målinger på samme materiale og med samme metode stemmer over ens, når de utføres under mest mulig samme betingelser. Målingene utføres i samme laboratorium, med samme utstyr og av samme person» [28].

Dette betyr i praksis at spredningen i resultater ved reproduserbarhetsundersøkelser vil være større enn ved repeterbarhetsundersøkelser. Ved repeterbarhetsundersøkelser bør spredningen være svært liten – nærmest ubetydelig.

Ved tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner bør det alltid utføres repeterbarhetsundersøkelser. Ved feltundersøkelser utføres ofte målingene av en person. Det er da viktig at repeterbarheten av målingene gir tilnærmet samme resultat. Dersom repeterbare målinger/undersøkelser ikke gir tilnærmet samme verdi, kan det skyldes feil enten med måleinstrumentet, selve undersøkelsen eller en kombinasjon av nevnte forhold. Kontroll av repeterbarheten bør utføres i form av stikkprøvekontroll. I tillegg kan det være hensiktsmessig i en del tilfeller å utføre

reproduserbarhetstest ved å la et eksternt firma/laboratorie foreta analyse av samme prøve. Spredning i måleresultatene vil da si noe om nøyaktighetsnivå og pålitelighet for utførte målinger.

6.4 Uttak av prøver for materialanalyse i laboratorie

6.4.1 Prøveuttak

De fleste laboratorieundersøkelsene blir utført på utborede kjerneprøver av betongen. Antall kjerner og dimensjon på kjernene vil variere alt avhengig av hvilke undersøkelser/analyser kjerneprøven skal benyttes til. Dette vil framgå for de ulike undersøkelsesmetodene beskrevet i kapittel 8.

I forbindelse med prøvetaking som krever inngrep i konstruksjonen enten ved uttak av borkjerner eller opphugging, må det tas hensyn til eventuelle konstruktive og bestandighetsmessige svekkelser av konstruksjonen som følge av inngrepet. Armeringsjern må ikke kuttes. Dersom det er nødvendig å kutte armeringsjern for å få utført nødvendig prøvetaking/undersøkelser, må dette gjøres på steder der armeringen er minst påkjent.

Etter at prøven er tatt ut, må hullene i betongkonstruksjonen helst repareres umiddelbart for å unngå skader på konstruksjonen. Reparasjonen utføres med en reparasjonsmørtel mest mulig slik eksisterende betong.

6.4.2 Utboring av betongkjerner

Utboring av betongkjerner skal skje i henhold til en borplan utarbeidet av en som har kunnskap om hvilke laboratorieundersøkelser prøvene skal benyttes til, og hvor de kan tas uten å svekke konstruksjonens bæreevne.

Borplanen skal inneholde følgende:

- Krav til utstyr
- Angivelse av prøvelokasjoner for kjerneuttak på en tegning. Ved valg av lokasjon for uttak av borkjerne må en vurdere om prøvene skal tas i skadet område eller uskadet område. En må unngå armering i prøvestykket
- Antall prøver ved hver prøvelokasjon
- Identifikasjonsnavn på prøvelokasjon
- Krav til dimensjoner på kjerneprøvene
 - krav til diameter - helst 100 mm, men min. 50 mm eller $3 \times D_{\max}$
 - krav til lengde på borkjernen – min 2 x diameteren
- Krav til retthet på kjerneprøvene



Figur 6.1 Borkjerne fra en betongkonstruksjon. (Foto: Stærk & Co as)

Det bores med fastmontert kjernebormaskin vinkelrett på betongoverflaten. Vannkjølt kjerneboring anbefales for å få presise sidekanter på prøvelegemene. Ved utboring av betongkjerner i kuldegrader kan tørr kjerneboring benyttes, men dette krever erfaring med bruk av utstyret for å få ut tilfredsstillende prøvestykker. Alternativt kan det benyttes frostvæske i kjølevannet ved våt kjerneboring.

6.4.3 Pakking og merking

Det er viktig at kjernene blir merket og pakket riktig. Merkingen av hver kjerne bør skje på betonghuden (den eksponerte betongoverflaten) og ikke på sag- eller bruddflatene. Merkingen må ha en entydig identifikasjon som indikerer hvor kjernene er tatt og kjernens orientering på konstruksjonen.

Etter merking av kjernen pakkes kjernen godt inn i flere lag med gladpack og deretter i en plastpose som tåler transport uten å få rifter eller skader. Dette for å hindre uttørking av borkjernen. Utenpå plastinnpakkingen merkes kjernen med sitt identifikasjonsmerke og dato for uttak av prøven.

Kjernene beskyttes med et støtdempende materiale (bobleplast eller isopor) i pappkasse, trekasse eller lignende. Ved transport til laboratoriet skal forsendelsen beskyttes mot frost og for sterk varme og derfor merkes med «Forsiktig – prøver til analyse».

6.4.4 Mottak av borkjernene i laboratoriet

Ved mottak av prøvene til laboratoriet skal leveransen dokumenteres. Med dette menes notering av leveransens tilstand, det vil si skader på forsendelsen, innpakkingsmåte, tilstanden på innpakking og kjernes tilstand. Kjernes tilstand skal undersøkes umiddelbart etter utpakking der følgende skal dokumenteres:

- Måling av dimensjoner på kjernen
- Måling av armeringsoverdekning og armeringsdiameter
- Måling av $D_{\max}$
- Kartlegging av synlige riss, rissmønster, brudd eller andre svekkelser i kjernen
- Måling av rissvidder og rissdybder

Borkjernene fotograferes og alle observasjoner angis enten på foto eller tegning. Deretter klargjøres borkjernen, dvs. kappes og prepareres, i henhold til prosedyren for aktuell analyse/prøvemethode.

7 Metoder for feltundersøkelse

7.1 Generelt for feltmetoder

Tilgjengeligheten av metoder for feltundersøkelser er gjenstand for utvikling, og det dukker stadig opp nye måleinstrumenter på markedet. Det er derfor i denne publikasjonen kun medtatt de feltundersøkelser som i dag benyttes mest og som er allment aksepterte metoder for å identifisere de mest vanlige skademekanismene for betong.

Gjennomføring av feltundersøkelser er i enkelte tilfeller væravhengig, og man må være klar over at usikkerheten ved enkelte målinger øker med fallende temperaturer. Generelt bør ikke fysiske målinger utføres ved temperaturer under + 5° C. Målinger som utføres med batteridrevne måleinstrumenter som drives av alkaliske batterier, vil ofte ikke fungere tilfredsstillende i kulde.

Flere av måle metodene medfører sår eller hull i betongoverflaten. Hullene fra prøvetakingen har som regel minimal betydning for konstruksjonens bæreevne og sikkerhet, men kan virke visuelt skjemmende. Derfor bør hull og sår over 16 mm tettes med reparasjonsmørtel, mens mindre hull kan tettes med aldringsbestandig akryl fugemasse. Der hvor prøvetakingen har medført blottlegging av armering, skal såret mørtles igjen med reparasjonsmørtel. Dersom prøvetaking medfører perforering av malingsfilm eller belegg **skal** hullene tettes.

Alt måleutstyr må til enhver tid være kalibrert i henhold til måleutstyrets anvisninger for å kunne gi pålitelige måleresultater. Firmaer som påtar seg oppdrag med tilstandsanalyse må derfor ha internrutiner for kalibrering av måleutstyr, men også kontroll og ettersyn av utstyret. Kalibrering av måleinstrumenter utføres som regel av utstyrsleverandøren eller sertifiserte instanser, men kan i noen tilfeller også utføres av bruker/utstyrseier.

Setninger og nedbøyninger måles ved nivellement, som er en velkjent metode som ikke omtales nærmere i denne publikasjonen.

7.2 Aktuelle undersøkelser

Tabellen nedenfor gir en oversikt over de mest aktuelle prøvemetoder for feltundersøkelser innenfor de ulike analysenivåene. Antall prøvemetoder og prøveomfang øker ved økende analysenivå. For analysenivå 1 er det ikke aktuelt med destruktiv prøvetaking. Hvilke metoder som blir benyttet i hvert enkelt tilfelle vil variere ut fra konstruksjonstype og konstruksjonenes eksponering for ulike nedbrytningsmekanismer. Generelt for alle tilstandsundersøkelser gjelder at inspektøren må vurdere hvilke målemetoder som må benyttes for å kartlegge tilstanden for konstruksjonen og årsaken til opptredende skadebilde.

Tabell 7.1 Oversikt over de mest aktuelle feltundersøkelser

Type undersøkelse	Analysenivå		
	1	2	3
Visuell kontroll	✓	✓	✓
Bomkontroll	✓	✓	✓
Overdekning		✓	✓
Karbonatiseringsdybde		✓	✓
Kloridinnhold		✓	✓
Opphugning		✓	✓
Rissmåling		✓	✓
Potensialmåling (EKP)			✓
Elektrisk motstand			✓
Heftfasthet			✓
Kontroll av armeringskontinuitet			✓
Prellhammertest			✓
Ultralyd			✓
Relativ fuktighet			✓
Korrosjonshastighet			✓

De ulike metodene, med unntak av visuell kontroll, omtales mer i detalj i etterfølgende kapittel. Visuell kontroll er omtalt i kapittel 5.

7.3 Bomkontroll

7.3.1 Metodebeskrivelse – hensikt

Bomkontroll utføres som akustisk sondering for å kartlegge om det er bom eller delamineringer i betongen som følge av korrosjon, frost, spenningsoppbygging mellom ulike materialer (bom bak puss), dårlig heft, m.m. Bomkontroll utføres på hele betongoverflaten, gjerne i sammenheng med en visuell kontroll når skader for øvrig skal registreres.

Ved lett banking på eller sleping av en metallgjenstand over betongoverflaten vil det fremkomme lydvariasjoner der hvor det er delamineringer og bom i betongen eller pussjiktet. Metoden går ut på å gjenkjenne variasjon i lyden som fremkommer ved at det vil høres en hul lyd for partier med bom.

Metoden vil avdekke delamineringer i betongoverflaten, men skadeårsaken vil ikke bestemmes uten at det utføres tilleggsundersøkelser.

Det finnes også andre metoder for kartlegging av bom som bruk av ultralyd, akustikk, røntgen og høyfrekvent radar. Det vises til kapittel 7.14.



Figur 7.1 Bomkontroll med hammer. (Foto: Norconsult AS)

7.3.2 Utstyr

Følgende utstyr er nødvendig:

- Hammer, meisel og/eller kjetting (konstruksjonsavhengig)
- Tommestokk/målebånd
- Kritt
- Kamera

7.3.3 Fremgangsmåte

Betongoverflaten som inngår i undersøkelsen kontrolleres ved at det bankes lett gjentatte ganger med hammer (eller annet egnet verktøy) mens man beveger seg systematisk over flaten slik at hele flaten blir undersøkt. Bomområder avgir en hullignende lyd.

For oversiden av betongdekker kan man forenkle metoden ved å slepe en kjetting, mens man systematisk går over betongoverflaten.

De registrerte bomområdene merkes av på tegning eller skisser for den aktuelle konstruksjonen. Man kan også tegne omrisset av bomområder med kritt på betongoverflaten for fotografering. Områder hvor man ønsker nærmere undersøkelser merkes spesielt.

Det må utvises forsiktighet ved kartlegging av bom, da selve kartleggingen kan utløse nedfall av løse betongbiter.

7.3.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Man vil etter hvert få erfaring med hvilket verktøy man selv synes egner seg best og gir den mest presise lydavgivelsen ved bomkontroll. Forskjellig verktøy med ulik utforming og massivitet vil kunne gi forskjellig lydbilde. Størrelsen og utbredelsen av delamineringen vil også ha innvirkning på lyden som avgis. Bomkontroll gir god sikkerhet for påvisning av delaminering/bom i dybder inntil 45-50 mm [29]. Dybder på 50-100 mm krever noe mer kraftig banking for å avdekke bom. Det er svært vanskelig å avdekke delamineringer eller hulrom som befinner seg dypere enn 100 mm fra overflaten

med denne metoden. Ved dypere bom/delamineringer må andre metoder benyttes, som f.eks. ultralydmålinger omtalt i kapittel 7.14.

7.4 Måling av armeringens betongoverdekning

7.4.1 Metodebeskrivelse – hensikt

Måling av armeringsoverdekning er en ikke-destruktiv metode for å lokalisere armeringen og måle avstandene fra betongoverflaten inn til armeringen. Hensikten med metoden er først og fremst å vurdere korrosjonsrisiko for armeringen ved å sammenholde armeringens overdekning med karboniseringsdybder og betongens kloridinnhold.

Overdekningsmåleren kan også benyttes til å kontrollere om armeringsføring og armeringsoverdekning er som prosjektert.

Metoden går ut på at man systematisk skanner betongoverflaten med en overdekningsmåler. De fleste overdekningsmålere er basert på et prinsipp der enten instrumentet selv, eller en ekstern sonde, er utstyrt med en elektromagnetisk spole som registrerer endringer i magnetfeltet når måleinstrumentet/sonden nærmer seg armeringen. Endringen er en funksjon av mengde metall og avstanden til armeringen. Med bakgrunn i endringen beregner overdekningsmåleren avstanden fra betongoverflaten inn til armeringen for angitt armeringsdimensjon.

Et alternativ til overdekningsmåler er radarmåling. Dette omtales ikke nærmere, siden overdekningsmåler med magnetisk spole er det mest vanlige måleinstrumentet.

7.4.2 Utstyr

Det finnes ulike måleinstrumenter for å registrere overdekningen både med og uten mulighet for registrering av både armeringens diameter og senteravstand. Det finnes også mer avanserte instrumenter med mulighet for skanning og lagring av resultater og elektronisk overføring til PC.

Enkelte instrumenter er også utstyrt med en stavsonde som også kan føres inn i borhull i betongen.



Figur 7.2 Utstyr for skanning av armeringens overdekning. (Foto: Stærk & Co as)

Følgende utstyr er nødvendig:

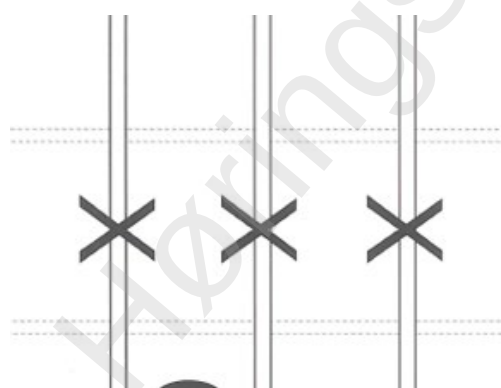
- Overdekningsmåler
- Tommestokk
- Kritt

7.4.3 Fremgangsmåte

Før en foretar måling av armeringens overdekning, må en vite dimensjonen på armeringen en skal måle overdekningen til. Armeringens overdekning vil være input til måleinstrumentet før måling. Informasjon om armeringens overdekning kan fås ved å:

- fremskaffe armeringstegning for konstruksjonen
- foreta en opphugging for måling av armeringens diameter med skyvelære
- benytte et måleinstrument som også kan måle armeringens dimensjon

Når en måler armeringens overdekning, er det viktig at målingene utføres riktig, slik at målingene ikke påvirkes av andre armeringsjern. Dersom en foretar måling i punktet for to kryssende armeringsjern, vil en måle feil overdekning, fordi endringen i magnetfeltet da vil være påvirket av to armeringsjern i stedet for ett jern som er nødvendig for å måle riktig overdekning. For å unngå dette bør en først foreta en skanning av betongoverflaten for å lokalisere armeringen i begge retninger ved å føre måleinstrumentet/sonden rolig over betongoverflaten. Når måleinstrumentet/sonden er like over armeringen, registreres minimumsverdi i displayet på måleinstrumentet. I tillegg avgir måleutstyret som regel et lydsignal. Etter hvert som armeringsjernene lokaliseres, avmerkes disse på betongoverflaten med kritt. Når en så skal måle overdekningen, må en først stille inn måleinstrumentet på diameteren til den armeringen en skal måle. Deretter føres måleinstrumentet/sonden rolig over betongoverflaten vinkelrett på den armeringen en skal måle og midt mellom armeringsjern i motsatt retning av de armeringsjerna en måler overdekningen til, slik som vist på fig.7.3 Når måleinstrumentet/sonden signaliserer at en er rett over armeringen, beveges instrumentet/sonden litt fram og tilbake for å få så nøyaktig måling som mulig. Armeringens overdekning angis på betongoverflaten f.eks. med kritt som lett lar seg fjerne i etterkant.

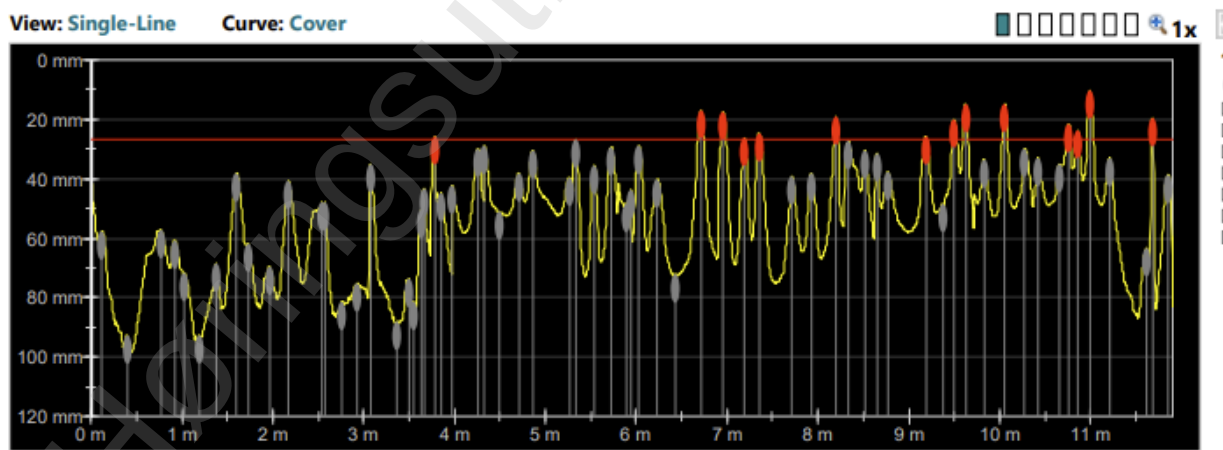


Figur 7.3 Målepunkt for overdekningsmåling



Figur 7.4 Måling av armeringsoverdekning. (Foto: Proceq)

De mer avanserte måleinstrumentene lagrer måleavlesningene automatisk og har tilhørende dataprogram som presenterer måleresultatene på ulike måter og som beregner både middelerverdier og standardavvik, slik som vist på fig. 7.5.



Figur 7.5 Overdekningsmålinger utført med skanner

Det er viktig å ha kjennskap til den aktuelle konstruksjonens armeringsføring når en måler overdekningen. Hovedarmeringen er som regel plassert innerst, og med svinn- og fordelingsarmering lagt i kryssende retning på utsiden. I noen tilfeller kan det også finnes avstands- eller montasjejern på utsiden av dette igjen. Når en måler armeringens overdekning bør en gjøre det spesifikt for ulike

typer armering, som f.eks. bøylearmeringen (søyler og bjelker), lengdearmeringen i søyler, hovedarmeringen i bjelker og dekker, etc.

Alle enkeltmålinger skal registreres. Innenfor hvert område (min. 1 m²) en utfører overdekningsmåling angis minimums-, maksimums- og middelveiden for hver type armering. I tillegg kan standardavvik beregnes for samtlige målinger.

Måleresultatene bør alltid verifiseres ved at det foretas et representativt antall opphugginger inn til armeringen for å kontrollere at måleinstrumentene måler riktig overdekning. Dette kan gjøres samtidig med opphugginger f.eks. ved måling av karboniseringsdybden eller kartlegging av armeringstilstand.

7.4.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Gode overdekningsmålere har en nøyaktighet på +/- 5 % innenfor angitt måleområde for utstyret.

For de fleste målesonder hvor måleteknologien er basert på en elektromagnetisk spole vil måleresultatenes nøyaktighet være avhengig av at armeringens diameter er angitt korrekt. Armeringsdiameteren legges inn manuelt. Feil innstilling av armeringsdimensjon vil representere en mulig feilkilde.

Har man armeringstegningene tilgjengelig kan verdier fra disse benyttes, men det er ikke bestandig at tegningene stemmer med den faktiske utførelsen. Dersom dette er tilfelle vil måleverdiene bli feil.

I konstruksjoner med armering med liten senteravstand, kan målingene forstyrres av armeringsjern som ligger til siden for det jernet det måles på. Overdekningen blir da mindre enn den faktisk er. Ved armering med liten senteravstand må det alltid foretas kontroll i opphugginger.

Andre forhold som vil påvirke målingene og medføre feil måleresultater vil være bindertråder i overflaten, magnetisk tilslag, målinger nær høyspentkabler og tett armering.

7.5 Måling av karboniseringsdybde

7.5.1 Metodebeskrivelse – hensikt og prinsipp

Hensikten med å måle karboniseringdybden er å vurdere korrosjonsrisikoen for armeringen ved å sammenholde karboniseringsdybden med armeringens overdekning. Metoden baserer seg på at man foretar et destruktiv inngrep i betongen enten ved opphugning eller uttak av borkjerner. Ved å sprøyte en pH-indikator på friske bruddflater kan en måle karboniseringsfronten/-dybden.

For bruk av fenolftalein som pH-indikator henvises til NS-EN 14630 [30].

7.5.2 Utstyr

Som pH-indikator benyttes enten fenolftalein- eller tymolftaleinopløsning. Fenolftalein gir rødlilla fargeomslag ved pH > ca. 9, mens tymolftalein gir et blålig fargeomslag ved en noe høyere pH (9,3 til 10,5). Fenolftaleinløsning tilberedes ved blanding av 1 g fenolftalein (tørrstoff) i 1 Liter 50/50 etanol-vann. Iht. håndbok R211 til Statens vegvesen [31] tilberedes tymolftaleinopløsning ved at 1 g tymolftalein oppløses i 70 ml etanol for deretter å fortynnes med 30 ml vann til et total volum på 100 ml. Fargeomslagene er vist på fig.7.6



Figur 7.6 Fargeomslag ved bruk av tymolftalein og fenolftalein. (Foto: Stærk & Co as)

Fenolftaleinløsningen er mest benyttet til påvisning av karbonatiseringsdybden. Av HMS-hensyn anbefaler en i dag å heller bruke tymolftaleinløsning. Følgende utstyr er nødvendig:

- Meislemaskin, vinkelsliper eller kjerneborutstyr
- Dusjflaske med pH-indikator
- Skyvelære
- Ballpumpe, sykkelpumpe, trykkluft eller annen egnet luftpumpe for rengjøring av bruddflaten
- Betong-/steinspitter til splitting av borkjerner
- Vann til rengjøring
- Tørkepapir

7.5.3 Fremgangsmåte

Måling av karbonatisering skjer som regel i en opphugning inn til armeringen, fig. 7.7. Alt støv blåses vekk fra bruddflatene før pH-indikatoren påsprøytes bruddflatene. Rengjøringen er viktig for at ikke betongstøv blir liggende igjen og forurensse flater som er karbonatisert og dermed gi feil måleverdi. Sårflaten påsprøytes pH-indikatoren umiddelbart etter rengjøringen. Flater som har vært slisset eller skåret, skal rengjøres grundig med stålborste og rent vann før påføring av indikatorvæsken.



Figur 7.7 Opphugging for påvisning av karbonatiseringsdybde. (Foto: Stærk & Co as)

Måling av karbonatiseringsdybden utføres umiddelbart etter påføring av pH-indikatoren, fordi farget væske kan suges kapillært inn i karbonatisert betong og medføre feilmåling. Overgangen mellom farget og ufarget betong angir karbonatiseringsfronten. Karbonatiseringsdybden er da avstanden fra betongoverflaten inn til karbonatiseringsfronten og måles med skyvelære. Karbonatiseringsfronten vil ikke være en rett linje, men vil vise en del variasjoner (som en bølge). Karbonatiseringsdybden måles derfor i flere punkter i opphuggingen. Mest nøyaktige målinger får en ved å legge en linjal/rettholt på betongoverflaten over hele såret. Måling av karbonatiseringsdybden kan da utføres som måling fra fargeomslaget i opphuggingen til underkant av linjalen/rettholten i et representativt omfang. I enkelte tilfeller erstattes opphugging med utboring av kjerner som splittes. Splittflaten rengjøres umiddelbart for støv og sprøytes så med pH-indikatorvæsken for påvisning av karbonatiseringsdybden. Karbonatiseringsdybden måles med skyvelære og registreres, gjerne på samme skjema som for overdekningsmålingene.

Dersom betongen er svært tørr, kan det være vanskelig å få fargeutslag. En kan da med fordel fukte betongen med rent vann for å fremprovosere fargeutslag.

En skal være oppmerksom på at i en del tilfeller kan karbonatisering medføre fargeendring i betongen slik at karbonatiseringsfronten dermed blir synlig.

For hvert prøvested angis minimum-, maksimum- og middelveidien for karbonatiseringsdybden. Standardavviket beregnes for samtlige målinger.

Prøvestedet fotograferes og mørtles igjen med reparasjonsmørtel.

7.5.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Tilslag i betongen kan lett bidra til feiltolking av karbonatiseringsdybden fordi tilslag i betongen ikke vil gi fargeutslag. Tilslag i betongen som befinner seg akkurat i nivå med karbonatiseringsfronten kan lett feiltolkes som større karbonatiseringsdybde.

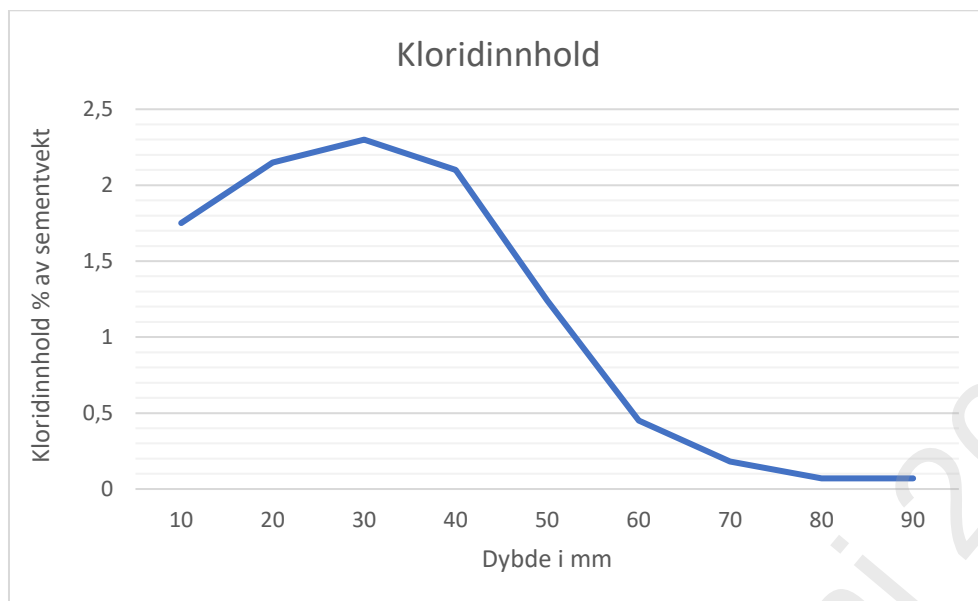
Dårlig rengjøring medfører også en mulig feilkilde, fordi ikke-karbonatisert betongstøv kan sette seg på den karbonatiserte sårflaten slik at en i realiteten måler for liten karbonatiseringsdybde.

Dersom måling av karbonatiseringsdybden utføres for lenge etter påsprøyting av pH-indikatoren, kan farget væske suges kapillært opp i karbonatisert betong slik at en måler for liten karbonatiseringsdybde. Dersom en venter for lenge med å påføre indikatorvæske, kan en også risikere å ikke få fargeutslag.

7.6 Måling av kloridinnhold

7.6.1 Metodebeskrivelse – hensikt

Hensikten med å måle kloridinnholdet er å vurdere korrosjonsrisikoen for armeringen ved å sammenholde armeringens overdekning med kloridinnholdet. Kloridinnholdet måles på borstøvprøver fra betongen i et gitt sjikt. Ved å ta ut borstøv fra betong i ulike dybdeintervaller, vil en kunne fastlegge kloridprofilen for betongen. Typisk kloridprofil for en betongkonstruksjon tilført klorider utenfra er vist på figur 7.8.



Figur 7.8 Kloridprofil for en betongkonstruksjon tilført klorider fra det ytre miljøet

I dag benyttes to metoder for analysering av kloridinnhold i betongen – Rapid Clorid Test (RCT-metoden) og Quantab-metoden. Felles for begge metoder er at en definert mengde betongstøv blandes med en syreløsning for å ekstrahere (løse ut) alle klorider. En måler da det totale kloridinnholdet i betongen.

Selv om disse metodene betraktes som feltmetoder, vil en i praksis i de fleste tilfeller ta med borstøprøvene til kontoret/ laboratoriet for analysering, men det er fullt mulig å utføre disse analysene i felt.

7.6.2 Utstyr

For uttak av borstøv har en behov for følgende utstyr:

- Borhammer med 18 eller 20 mm bor
- Skyvelære eller tomrestokk for avlesning av bordybder
- Blåseutstyr for rengjøring av borhullene før uttak av borstøv i ulike sjikt
- Oppsamlingsanordning for borstøv
- Plastposer med lynlås
- Tusj til merking av prøveposer.
- Vekt
- Magnetmikser
- Analyseutstyr

For RCT-analyser benyttes RCT-koffert med komplett utstyr omfattende millivoltmeter, kloridselektiv elektrode, ampuller med kloriduttrekkende væske (ekstraksjonsvæske), kalibreringsvæsker, kalibreringsutstyr, rengjøringsutstyr, logaritmisk skjema for kalibrering og avlesning av måleresultat, se figur 7.9



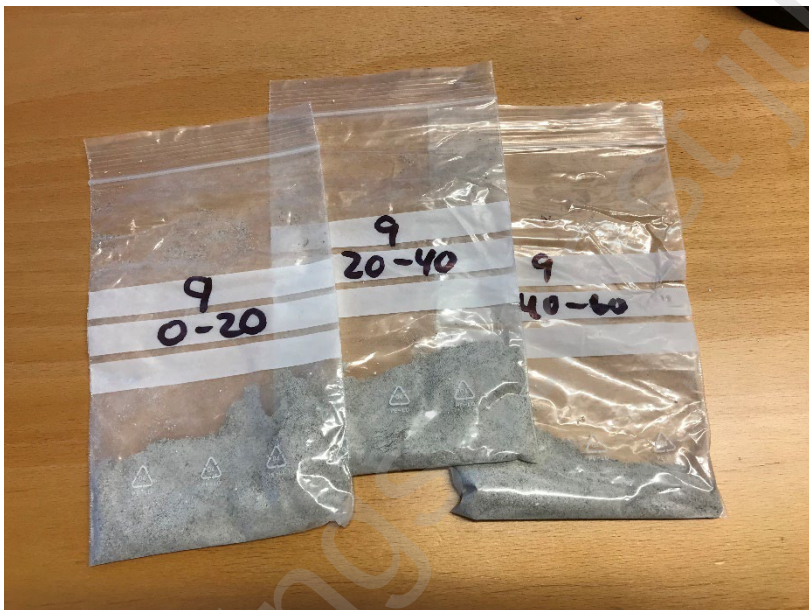
Figur 7.9 RCT-utstyr. (Foto: Stærk & Co as)

For Quantab-analyser trenger en Quantab-strips (med omregningstabell), 1 molar salpetersyre, natriumkarbonat, filterpapir og diverse målebeger.

Som oppsamlingsutstyr for borstøv på vertikale flater kan en benytte skråskjært plastrør eller skråskåret plasttrakt med gjennomgående hull for boring og med oppsamlingspose for borstøvet rundt røret eller traktetuten, som vist på figur 7.9. Samme utstyr kan benyttes for uttak av borstøv på undersiden av dekker. På oversiden av dekker kan en benytte flatbunnet plastkopp med hull noe større enn diameteren på slagboret. Borstøvet samles opp i koppen og helles over i plastpose med lynlås.



Figur 7.10 Uttak av borstøv for kloridanalyse. (Foto: Multiconsult AS)



Figur 7.11 Oppsamling av borstøv i lynlåspose i ulike sjikt. (Foto: Norconsult AS)

For begge metoder trenger en dessuten referanseprøver med kjent kloridinnhold for å kontrollere målenøyaktigheten.

7.6.3 Uttak av borstøv

Det bores med slagdrill i et gitt dybdeintervall for oppsamling av borstøv. Ved valg av dybdeintervaller er det fornuftig å velge intervaller som minimum gir kloridinnhold i;

- overdekningssonen

- ved armering

- bak armeringen

Sjiktene kan variere i tykkelse fra 10 til 25 mm og må tilpasses den aktuelle konstruksjonen ift. klorideksponering og armeringsoverdekning. I de tilfeller hvor kloridene er tilført fra ytre påvirkning, kan det ofte være interessant å dele inn overdekningssonen i flere dybdeintervaller. Dersom betongen i tillegg er karbonatisert, bør en måle kloridinnholdet like bak karbonatiseringsfronten, fordi en vil få opphoping av klorider bak karbonatiseringsfronten. Dette skyldes at betongens evne til å binde klorider reduseres ved lavere pH. Dette vil dermed ha betydning for valg av sjiktene for uttak av borstøv.

Før en tar ut borstøvprøver, bør en på forhånd ha kartlagt lokalisering av armeringen i området for å unngå at borkullene kommer i konflikt med armeringen.

For oppsamling av borstøv benyttes slagbor med minimum diameter på 18 mm. Det bør bores tre-fire hull med en avstand på 30-50 mm mellom hvert hull for å få nok borstøv (min. 20 g), og for å unngå at tilslag utgjør for stor andel av prøvematerialet.

De ytterste 1 – 2 millimeterne på betongoverflaten bør fjernes fra borstedet før man foretar oppsamling av borstøvet, for å unngå forurensing fra betongoverfalten i prøven. Borkullene rengjøres omhyggelig med trykkluft før en tar ut borstøv i neste sjikt.

Alt borstøv samles opp i en plastpose med lynlås og merkes med prøvenummer og sjikt. Borstøvet i posen må blandes godt slik at borstøvmassen blir mest mulig homogen. For å få en god blanding av borstøvet fra de ulike borkullene, kan en med fordel bruke en magnetmikser.

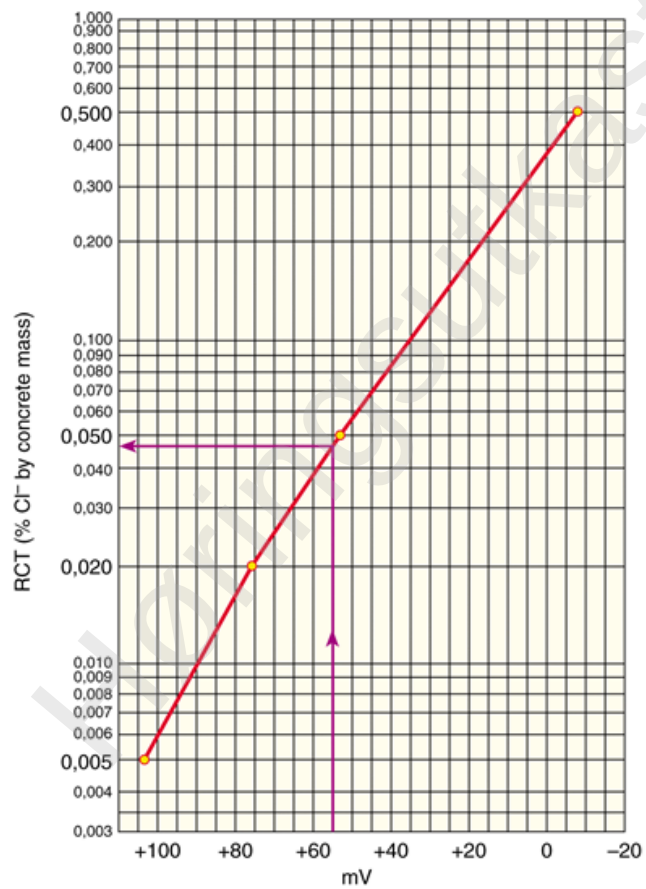
7.6.4. Fremgangsmåte ved RCT-metoden

Ved RCT-metoden benyttes en ioneselektiv elektrode kalibrert mot prefabrikerte kloridholdige løsninger for måling av kloridinnholdet for borstøvprøvene. Metoden baserer seg på syreekstrahering av klorider i en bestemt mengde betongstøv og syre, med påfølgende måling av elektrisk spenning mellom væsken og en kalibrert voltsensitiv elektrode. Leverandørens anvisning med instruks for bruk og kalibrering følges nøye.

Elektrodens kalibreringskurve bestemmes ved hjelp av væsker med kjent kloridinnhold på henholdsvis 0,005, 0,02, 0,05 og 0,5 prosent- figur 7.12. Kalibreringskurven etableres ved å måle mV-verdien for kalibreringsvæskene både før og etter måling av selve prøvene. Deretter kan en plote avlest mV-verdi for kalibreringsvæskene (gjennomsnitt av måleverdi før og etter) og tilhørende kloridinnhold i medfølgende måleskjema for opptegning av kalibreringskurven. Det skal i teorien være en lineær sammenheng mellom spenningen og logaritmen til konsentrasjonen av klorider, men i praksis er dette ikke helt korrekt. Det er derfor nødvendig å plote kalibreringsverdier for minst 4 referanseprøver, slik som vist på figur 7.13.



Figur 7.12 Kalibreringsvæsker. (Foto: Stærk & Co as)



Figur 7.13 Kalibreringskurve [32]

Det måles opp i 1,5 g borstøv for hver prøve som helles over i ampullene som er forhåndsfylt med riktig mengde syre (ekstraksjonsvæske). Det følger med et målebeger med stamp for porsjonering av borstøvet i riktig mengde, men nøyaktig veiing av borstøvet gir bedre presisjon og anbefales. Kloridene i borstøvet løses opp av syren i ampullene mens de ristes i fem minutter. Deretter settes ampullene til side noen minutter inntil borstøvet er utfelt som bunnfall. Metoden gir måleresultater i løpet av kort tid, men målingene blir mer nøyaktige om de oppløste prøvene får stå lenger – gjerne over natten.

Når alt borstøv er bunnfelt og første måling av kalibreringsvæskene er utført, kan en starte måling av borstøvsprøvene. Elektroden føres da ned i væskeløsningen uten å komme nær bunnfallet, fordi den da vil skades. En gummiring rundt elektroden skal sikre at så ikke skjer. Se figur 7.14. Når voltmeteret viser stabile verdier, avleses mV-verdien. Det er viktig å skylle elektroden omhyggelig med destillert vann mellom hver måling.



Figur 7.14 Måling av kloridinnhold. (Foto: Stærk & Co as)

Millivoltverdiene for alle prøvene plottes til slutt mot kalibreringskurven, og kloridinnholdet som % Cl^- av betongvekten leses direkte ut av kalibreringskurven på y-aksen, slik det framgår av figur 7.13. Med kjent sementinnhold i betongen omregnes konsentrasjonen til % Cl^- i forhold til sementvekt.

7.6.5 Fremgangsmåte ved Quantab-metoden

Quantab-metoden er en variant av Mohrs titreringsmetode. Ved Quantab-metoden løses en kjent mengde borstøv i salpetersyre. Deretter nøytraliseres blandingen under omhyggelig omrøring, for så

å utføre måling av kloridinnhold med strips som settes i blandingen. Utslagsverdien på stripsen avleses og via en omregningstabell angis kloridinnholdet i prosent av betongvekt.



Figur 7.15 Strips for Quantab-analyse. (Foto: Multiconsult AS)

Ved Quantab-testen trenger en 5 g borstøv. Borstøvet blandes med magnetmikser med 50 ml 10% salpetersyre i minimum ett minutt. Deretter tilsettes 5 g natriumkarbonat og alt blandes med en magnetmikser i minimum ett minutt. Deretter lar en oppløsningen stå og bunnfelle, løsningen filtreres for fjerning av løse partikler for deretter å sette Quantapstripsen oppi den filtrerte løsningen.

Quantab-stripsen har en stripe med innlagt sølvdikromat. Når stripsen settes ned i oppløsningen, suges væske opp i stripa. Reaksjonen mellom sølvdikromat og kloridioner i oppløsningen danner sølvklorid som fremstår som en hvit strek på plaststrimmelen. Når plaststrimmelen er mettet med væske og den tverrgående streken på toppen av stripsen er mørkfarget, avleses verdien på stripsen som så regnes om til kloridinnhold ved hjelp av omregningstabell som følger med Quantab-stripsene. NB! Ikke bruk omregningstabell fra annen boks da hver boks med sine strips kan ha sin egen omregningstabell. (Skyldes ulike produksjonstidspunkt). Den avleste verdien kontrolleres mot Quantab-strimmelens gyldighetsområde.

7.6.6 Usikkerhet/nøyaktighet

Usikkerhet og feilkilder ved disse metodene er først og fremst knyttet til:

- representativiteten av prøven
- variasjoner i sjiktdybden
- forurensing i prøvene og kalibreringsvæskene
- skade på elektroden
- variasjon i temperatur
- bruk av feil omregningstabell

For å ha kontroll på målenøyaktigheten, skal det alltid utføres analyse på referanseprøver i pulverform med kjent kloridinnhold. Det bør være minst en referanseprøve pr 20.prøve.

7.7 Opphugging

7.7.1 Metodebeskrivelse - hensikt

Opphugging er en destruktiv metode som medfører et fysisk inngrep i konstruksjonen. Hensikten med opphugging kan være kartlegging av armeringens korrosjonstilstand, armeringens overdekning, dimensjon og plassering, tverrsnittsreduksjon på armeringen som følge av pågående korrosjon og verifisering av resultat fra EKP-målinger og overdekningsmålinger. I tillegg kan en få et visst inntrykk av betongens homogenitet med hensyn til tilslagsfordeling, hulrom, riss, etc. ved å studere bruddflatene etter opphugging.

7.7.2 Utstyr

Følgende utstyr er nødvendig:

- Meiselmaskin
- Vinkelsliper
- Overdekningsmåler
- Kritt
- Stålbørste for fjerning av rust
- Skyvelære og tommestokk
- Inspeksjonsspeil/tannlegespeil

7.7.3 Fremgangsmåte

Når det gjelder valg av prøvested, bør opphuggingen utføres på et sted på konstruksjonen der en kan få mest mulig informasjon om konstruksjonen, og der en kan benytte opphuggingen til flest mulig målinger. Opphuggingen må plasseres på steder og utføres på en slik måte at en ikke får en svekkelse av konstruksjonen.

Armeringsjern eller innstøpningsgoods lokaliseres med overdekningsmåler, og betongen meisles ut i dybde med jernet. Dersom det slisses med vinkelsliper på begge sider langs jernet, vil dette forenkle utmeislingen. Ved bruk av vinkelsliper må en unngå å kutte armeringen. For undersøkelse av armering i karbonatisert betong skal armeringen blottlegges i minimum 50 mms lengde, som vist på figur 7.16. Inneholder betongen klorider eller det er mistanke om kloridinitiert armeringskorrosjon, bør armeringen blottlegges i lengde på minimum 150 mm, og det skal da også meisles slik at baksiden av jernet blir tilgjengelig for undersøkelse.



Figur 7.16 Opphugging for kartlegging av korrosjonstilstand på armering i karbonatisert betong. (Foto: Stærk & Co as)

Armeringens overdekning og diameter måles med skyvelære eller tommestokk. All rust på armeringen må fjernes f.eks. med stålborsting før en kan måle eventuell tverrsnittsreduksjon på armeringen. Groptæringer på armeringen skal vurderes og anmerkes spesielt. Det er viktig at også armeringens bakside inspiseres ved bruk av f.eks. inspeksjons-/tannlegespeil.

Armeringens rustgrad vurderes etter følgende skala iht. ISO 8501-1 [33]:

- Rustgrad A: Armeringsoverflate stort sett uten rust
- Rustgrad B: Begynnende rust og avflassing på armeringens overflate
- Rustgrad C: Hele eller store deler av armeringens overflate har overflaterust. Lite synlig gropetæring
- Rustgrad D: Hele eller store deler av armeringens overflate har overflaterust. Synlig rustgroper (gropetæring) i stor utstrekning

I forbindelse med verifisering av EKP-målingene skal det foretas opphugginger i områder med påvist korrosjon og ikke korrosjon for å kalibrere EKP-målingene.

Når en først foretar en opphugging, vil en som regel samtidig måle karbonatiseringsdybden i såret.

7.7.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Valg av sted representerer den største usikkerheten med hensyn til hvor representativt prøvestedet er for det en ønsker å undersøke.

7.8 Rissmåling

7.8.1 Metodebeskrivelse - hensikt

Hensikten med å måle sprekk-/rissvidden kan være å fastlegge skadeårsak, skadekonsekvens samt grunnlag for å vurdere reparasjonstiltak. Videre kan rissmåling på samme sted over tid avdekke om det er en pågående rissutvikling.

Metoden benyttes både til måling av sprekker/riss i betong og puss, men også for riss i overflatebelegg/maling.

Rissmålinger kan enten gjøres som en øyeblikksmåling eller som repeterbare målinger over tid for å si noe om bevegelser i risset.

7.8.2 Utstyr

Relevant utstyr i forbindelse med måling av riss-/sprekkvidder:

- Risslinjal eller risslupe
- Strekkklapper
- Tommestokk
- Tusj
- Evt. gips



Figur 7.17 Risslinjal. (Foto: Stærk & Co as)

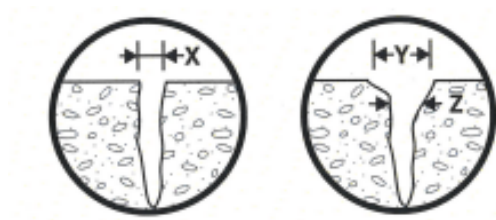


Figur 7.18 Risslupe. (Foto: Stærk & Co as)

7.8.2 Fremgangsmåte

Måling av riss gjøres enten med en enkel risslinjal eller mer nøyaktig med en risslupe. Det måles flere steder langs risset, og verdiene noteres på skadeskjema eller tegninger. Dersom det skal utføres flere målinger på samme sted over tid, vil det være fornuftig å merke stedet med en tverrgående tusjstrek og målestedsnummer, slik at senere målingene utføres på nøyaktig samme sted. Det bør samtidig med måling av rissvidden også undersøkes om det er forskyvning i betongplanet over risset.

Det er ikke likegyldig hvordan en måler rissvidden. Dersom risset har skarpe kanter helt ut til betongoverflaten, måles rissvidden langs risskantene på betongoverflaten, som vist som rissvidde x i fig. 7.19. Dersom risset har avrundede kanter mot betongoverflaten pga. overflateforvitning eller mekanisk slitasje, må rissvidden måles lenger inne i risset – innenfor området for avrunding, slik som vist som rissvidde z i figur 7.19. Riss med skarpe kanter og uten skitt eller smuss i risset tyder på at risset er av nyere dato.



Figur 7.19 Måling av rissvidde [34]

For større sprekker vil en kunne måle sprekkestørrelsen med tommestokk.

Dersom man ønsker å kartlegge om det er bevegelser i risset, kan man montere en plombe av gips over risset. Dersom det er bevegelse i risset, vil det oppstå et riss i gipsplomben over risset. Bruk av gipsplombe forutsetter tørt miljø. Ved fuktighet i form av regn, vil gipsplomben gå i oppløsning. Et alternativ kan da være å legge et tynt sjikt med mørtel over risset.

Alternativt til gipsplombe er mekaniske eller elektroniske rissovervåkere som måler bevegelser i risset.

Omfanget av riss kan beregnes som rissindeks, dvs. summen av rissvidder som krysser en rett rissmålerlinje på betongoverflaten dividert med lengden på rissmålerlinjen. Beregning av rissindeks er først og fremst aktuelt ved alkaliereaksjoner.

$$\text{Rissindeks} = \sum \text{rissvidder} / \text{lengde rissmålerlinje} \quad [13]$$

7.8.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Det oppnås mer presise avlesninger ved en slett betongoverflate enn hvis overflaten er ru og grov. Det er også av betydning om risset har noenlunde rette og skarpe kanter eller ikke.

7.9 Potensialmåling (EKP)

7.9.1 Metodebeskrivelse – hensikt

Potensialmåling er en ikke-destruktiv metode for å undersøke hvor det er risiko for pågående armeringskorrosjon på betongkonstruksjonen. Prinsippet med metoden er basert på at korrodert armering har et annet elektrokjemisk potensial enn armering som ikke korroderer. EKP-målinger gir derfor et øyeblikksbilde av om armeringen korroderer eller ikke. Målingene sier ikke noe korrosjonsgrad eller korrosjonshastighet.

Ved EKP-målinger måles spenningsforskjellen og motstanden mellom en referanseelektrode i kontakt med betongoverflaten og armeringen. Referanseelektroden har et fast potensial som det måles mot og er avhengig av elektrodens sammensetning. Vanligvis benyttes enten sølv/sølvklorid eller kobber/kobbersulfat som referanseelektrode. Andre referanseelektroder finnes også.

Når armeringen korroderer, oppstår det elektriske felter som følge av den elektrokjemiske prosessen. Som følge av dette vil det gå en strøm gjennom betongen som fører til en elektrisk spenning – et elektrokjemisk potensial (EKP). På grunn av betongens ohmske motstand oppstår spenningsgradienter (spenningsforskjeller) som kan måles ved EKP-målinger. Den målte spenningsforskjellen vil indikere om armeringen er i korrosjonstilstand eller ikke. Metoden forutsetter god armeringskontinuitet og at betongoverflaten ikke er overflatebehandlet (med et ikke-ledende belegget). Kontroll av armeringskontinuitet er beskrevet i kapittel 7.12.

Det henvises for øvrig til ASTM C876-15 [35].

7.9.2 Utstyr

Følgende utstyr er nødvendig:

- Overdekningsmåler
- Meiselmaskin
- Stålbørste for rengjøring av armering
- Referanseelektrode (Ag/AgCl eller Cu/CuSO₄)
- Kabler med terminaler for måleinstrumentet og klemmer til å montere på armeringen
- Svamp
- Voltmeter/multimeter
- Kritt eller krittspor for å markere rutemønstre
- Sprøytekanne med vann
- Evt. spesialutstyr for EKP-måling med datalogger



Figur 7.20 Utstyr for EKP-målinger med kobber/kobbersulfat elektrode. (Foto: Stærk & Co as)

7.9.3 Fremgangsmåte

Målingen utføres enten med en enkel håndholdt referanseelektrode koblet til et multimeter eller det kan benyttes mer avansert utstyr med automatisk måling og logging av verdier.

Før EKP-målinger kan utføres må målefeltet klargjøres. Det første en må gjøre er å kontrollere at det er armeringskontinuitet i målefeltet. Det hugges inn til armeringen på hver side diagonalt av målefeltet, og kontinuiteten mellom disse kontrolleres. Dersom armeringskontinuiteten er

tilfredsstillende, ref. kapittel 7.12, merkes det opp et rutenett med masker på maks 50 x 50 cm hvor det så måles i hvert krysspunkt i rutenettet. (Ved svært tørr betong kan maskevidde helt ned i 20 x 20 cm være aktuelt). I målepunktene fjernes eventuell maling. Ved hvert målepunkt fuktes betongen med rent vann før måling. For å sikre god kontakt mot betongen kan en fuktet svamp legges på målepunktet før en setter referanseelektroden mot målepunktet. Det er viktig at betongen ikke vannmettes, men at den er svakt sugende etter fukting. Det må benyttes samme mengde vann til oppfukting av hvert målepunkt.

Ved måling kobles referanseelektroden til V-inngangen på multimeteret eller dataloggeren, og ledningen med armeringskontakten til COM-inngangen. Så avleses mV-verdier for alle målepunktene innenfor måleområdet. Hvis det tar tid før måleverdien stabiliserer seg, må man vente til verdien ikke endrer seg mer enn 20 mV per minutt. Dersom ikke målingen stabiliseres etter gjentatte forsøk, skal målingen forkastes.

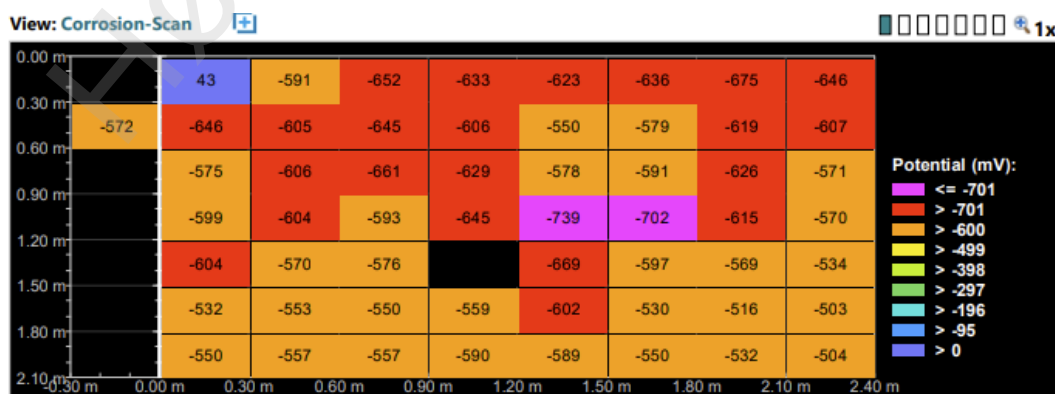
Potensialverdiene er et uttrykk for korrosjonsaktivitet for armeringsjernet som befinner seg nærmest referanseelektroden. Målte verdier ligger vanligvis mellom -900 mV og +200 mV. Jo lavere verdi, desto større er sannsynligheten for korrosjonsaktivitet. Grenseverdiene for korrosjon vil være avhengig av betongens elektriske motstand, samt miljøet i overdekningssonen med tanke på fuktinnhold, porøsitet og kloridinnhold. Høy fuktighet, dvs. lavt oksygeninnhold, kan gi lavt potensiale ned til ca. -500 mV uten pågående korrosjon. Motstanden måles med å påtrykke en vekselstrøm.

Iht. internasjonale standarder benyttes følgende potensialverdier for kobber/kobbersulfatelektrode (CSE) for vurdering av korrosjonsrisiko:

- Potensial høyere enn -200 mV
- Potensialer mellom -200 mV og -300 mV
- Potensialer lavere enn -300 mV
- liten korrosjonsrisiko
- middels korrosjonsrisiko
- høy korrosjonsrisiko

Ved bruk av andre referanseelektroder må overnevnte grenseverdier korrigeres for å konvertere måleverdiene til CSE-verdier.

Overnevnte potensialverdier er veiledende verdier. Vurdering av korrosjonsrisikoen kan ikke utelukkende baseres på målte potensialverdier. Målingene må alltid sammenholdes med opphugginger for visuell kontroll av faktisk armeringstilstand. Det kan da vise seg at det ikke er pågående armeringskorrosjon der veiledende potensialverdier skulle tilsi dette. Med bakgrunn i opphugginger og visuell kartlegging av faktisk armeringstilstand, må en foreta en kalibrering (justering) av de veiledende potensialverdier som grunnlag for vurdering av samlet korrosjonsrisiko.



Figur 7.21 Eksempel på måleresultat ved bruk av utstyret vist på figur 7.20

Ved bruk av spesialutstyr for EKP-målinger, må prosedyren for måleutstyret følges.

7.9.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Usikkerheten ved denne metoden ligger først og fremst i tolkning av måleresultatene, fordi måleresultatene påvirkes av betongkvaliteten, fuktigheten i betongen samt elektrodens plassering ift. armeringen. Riktig tolking av måleresultatene krever lang erfaring.

Resultatene fra potensialmålingene må kontrolleres med hyppige opphugninger inn til armeringen. Usikkerheten ved EKP-målinger er først og fremst knyttet til tolking av dataene.

Feilkilder kan også forårsakes av skade på elektrode, dårlig ledningskontakter eller dårlig kontakt mellom elektroden og betongoverflaten.

7.10 Elektrisk motstand

7.10.1 Metodebeskrivelse - hensikt

Hensikten med måling av den elektriske motstanden for betongen er å kartlegge/vurdere betongens elektriske ledningsevne. Måling av betongens elektriske motstand kan utføres etter forskjellige prinsipper med følgende metode:

- Vekselspenningsmåling mellom to elektroder på hver side av eller i betongen.
- Måling av ohmsk spenningsfall mellom to elektroder på betongens overflater eller i betongen
- Wenners 4-elektrodemåling på betongoverflaten.

Vekselspenning er en enkel metode, og var tidligere mest benyttet. Vekselspenning benyttes for å hindre polarisering på måleelektroderne i eller på betongen. Frekvensen bør være i området 105 – 1000Hz og påtrykt spenning i størrelsesorden 1 V. For lav frekvens resulterer i polarisering. For høy frekvens gjør betongen mer ledende.

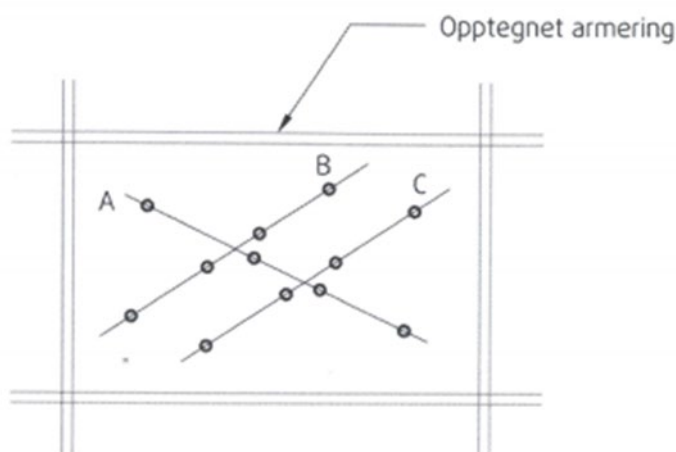
Wenners 4-punkts probe er best egnet til målinger i felt og omtales derfor nærmere i dette kapittel.

7.10.2 Utstyr

Wenner-måleren består av fire elektroder med en definert lik avstand mellom elektrodene. Mellom de to ytterste elektrodene påtrykkes en konstant strøm I . Den resulterende spenningen ΔV mellom de to innerste elektrodene måles. Motstanden fremkommer da som forholdet mellom spenning og strøm.

7.10.3 Fremgangsmåte

Armeringen i betongen vil lede strøm langt bedre enn betongen. Målinger utført over armeringen kan derfor gi store feil. Før målinger kan utføres må det foretas en kartlegging av armeringen i konstruksjonen og armeringens plassering må tegnes opp som et rutenett på betongoverflaten. Målesonden må plasseres på betongoverflaten slik at avstanden til armeringen blir størst mulig. Normalt vil det medføre at målesonden må plasseres diagonalt rundt midten i rutenettet for armeringen slik som vist på fig. 7.22



Figur 7.22 Plassering av målesonden for Wenner-målinger

For hvert målepunkt utføres fem målinger der målesonden flyttes noen millimeter for hver måling. Gjennomsnittsverdien for de fem målingene beregnes. Deretter kan betongens spesifikke elektriske motstand beregnes etter følgende formel:

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot R$$

hvor

a = elektrodeavstanden (m)

R = resulterende spenningen dividert på påtrykt strøm - $\Delta V/I$ (Ω)

Målepunktene på betongoverflaten fuktes på forhånd for å redusere overgangsmotstanden mellom betong og sonde.

7.10.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Verdiene som måles kan avvike opp til 25 % i forhold til betongens reelle spesifikke elektriske motstand. Måleresultatene er sterkt avhengig av betongens fuktighet og temperatur. I tillegg vil måling over armering medføre en feilkilde.

7.11 Heftfasthet

7.11.1 Metodebeskrivelse - hensikt

Hensikten med metoden er å måle vedheften mellom ulike materialesjikt som mellom reparasjonsmørtelen og underbetongen, mellom overflatebehandling og underliggende betong eller mellom puss og betong.

Metoden er basert på mekanisk uttrekk av prøvekopper med kjent areal som limes på overflaten og påføres en avtrekkskraft. Påført avtrekkskraft omregnes til heftfasthet.

Det henvises til NS-EN 1542 [36].

7.11.2 Utstyr

Følgende utstyr er nødvendig:

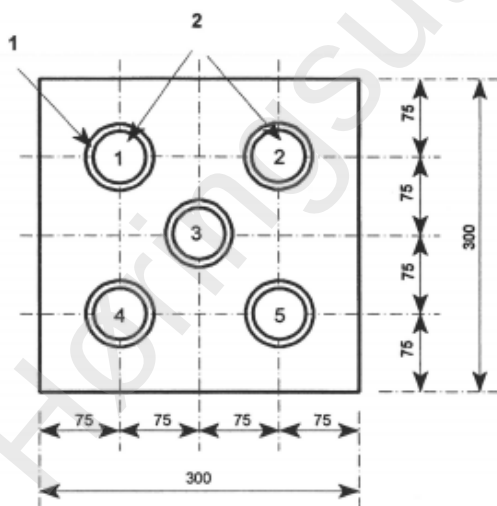
- Vann og tørkepapir til rengjøring. (Teknisk sprit eller aceton kan benyttes for å fjerne gjensittende forskalingsolje)
- To-komponent hurtigherdende epoxylim for liming av prøvekopper
- Måleutstyr med prøvekopper og avtrekksutstyr (Prøvekoppene har vanligvis en diameter på 50 mm)
- Kjernebormaskin med kjernebor med diameter tilpasset prøvekoppe



Figur 7.23 Utstyr for måling av heftfasthet. (Foto: Stærk & Co as)

7.11.3 Fremgangsmåte

Prøveområdet rengjøres omhyggelig før prøvekoppe limes opp. Det betyr at flaten der prøvekoppe skal limes må være tørr og uten støv og skitt. For hvert prøvested skal prøvingen omfatte minimum 5 enkeltprøver [34] plassert i noenlunde nærhet til hverandre som vist på fig. 7.24. Det benyttes lim som har vesentlig bedre heftfasthet enn de materialer som ønskes undersøkt.



Figur 7.24 Plassering av prøvekopper for måling av heftfasthet [36]

Limet bør ha heftegenskaper bedre enn 5 MPa til både prøvekoppe og underlaget. Prøvekoppene skal sikres mot bevegelse etter liming. Dette kan kreve understøttelse på vertikale flater og underside av horisontale flater.

Etter at limet er herdet, sages et spor med kjernebor rundt prøvekoppen ca. 5 mm dypere enn det sjiktet man ønsker å måle for å få en veldefinert bruddflate, som vist på figur 7.25. Ved måling av heftfasten for reparasjonsmørtel, må det bores inn i til betongflaten før utfylling med mørtel. Boringen må utføres med forsiktighet slik at prøvekoppen ikke blir utsatt for vibrasjoner eller slag. Avtrekksutstyret monteres uten å påføre prøvekoppen belastning. Avtrekkskraften påføres vinkelrett og sentrisk på flaten med rolig og jevn hastighet ca. 0,05 MPa/sek. Når prøven går i brudd, må man passe på at avtrekksutstyret og prøvekoppen ikke faller ned og skades. Bruddverdien leses av på utstyrets manometer, og verdien regnes om til en uttrekkskraft ut fra tabeller som følger med uttrekksutstyret.



Figur 7.25 Saging av spor rundt prøvekoppen før avtrekk. (Foto: Stærk & Co as)

Hver prøvekopp undersøkes visuelt, og bruddflaten beskrives med tanke på hvilke materialssjikt bruddet oppsto og fasongen på bruddflaten. Bruddflaten beskrives ved å angi prosentandel av bruddet i de ulike materialsjiktene og i overgangen mellom de ulike materialsjiktene. Dersom bruddet går 100% i underlaget (betongen), måler en i praksis underbetongens strekkfasthet. Bruddflaten dokumenteres med foto.

Heftfastheten for et prøvested består av middelveien for enkeltprøvene i måleserien.

7.11.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Man må utvise nøyaktighet og forsiktighet ved både montering av prøvekopper, friboring/frisaging og avtrekking av prøvene. Unøyaktig utførelse kan lett medføre for lave måleverdier. Følgende forhold vil påvirke måleresultatene:

- eksentrisk belastning
- påføring av skader på prøvekoppene under belastning
- påføring av slag på prøvekoppene ved frisaging
- bevegelse i prøvekoppene etter oppliming og før limet har herdet
- ujevn eller for rask påføring av avtrekkskraft
- mangelfull kalibrering av måleinstrument

7.12 Kontroll av armeringskontinuitet

7.12.1 Metodebeskrivelse - hensikt

Hensikten med metoden er å undersøke om armeringsjernene i betongkonstruksjonen er i elektrisk kontakt med hverandre. Måling av armeringens elektriske kontinuitet utføres stikkprøvemessig ved en tilstandskontroll for å kontrollere om betongkonstruksjonen er egnet for elektrokjemiske reparasjonsmetoder. I tillegg utføres måling av armeringskontinuiteten i forbindelse med EKP-målinger.

Metoden går ut på at man kobler et multimeter mellom to armeringsjern for å måle om disse er i elektrisk kontakt ved å måle motstanden.

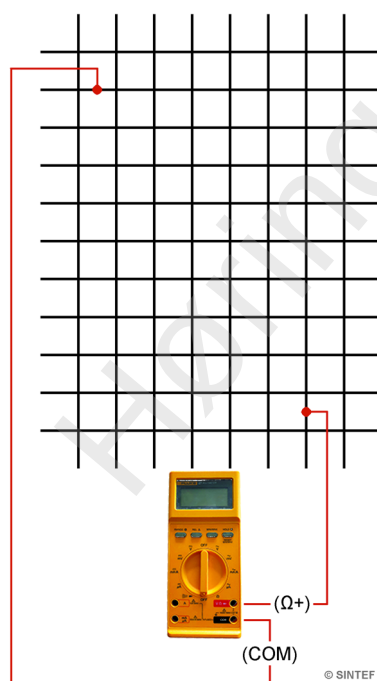
7.12.2 Utstyr

Følgende utstyr er nødvendig:

- Overdekningsmåler
- Meiselmaskin
- Stålbørste og jernfil
- Multimeter med lange kabler og klemmer

7.12.3 Fremgangsmåte

Måling av armeringens kontinuitet utføres på to armeringsjern som ligger et godt stykke fra hverandre. Lokalisering av armeringsjernet utføres med en overdekningsmåler. Armeringen blottlegges ved opphugging på begge steder, alternativt kan eksponert armering i skadesteder benyttes. Det skal måles på blankt stål, fordi det vil redusere overgangsmotstanden. All rust og glødeskall, oksidfilm m.m. må derfor fjernes på armeringsoverflaten enten med stålbørste eller fil før kablene kobles til armeringsjerna. Deretter kobles kablene til multimeteret og instrumentet stilles inn for måling av motstand (ohm).



Figur 7.26 Prinsipp for måling av armeringskontinuitet [37]

Kontinuitet er oppfylt dersom motstanden mellom to punkter på forskjellige armeringsjern er mindre enn 1 ohm. Dersom den elektriske motstanden er over 1 ohm, kan det påtrykkes en strøm på ca. 5 ampere i ca. 5 sek. Umiddelbart etter at strømmen er brutt, skal spenningsforskjellen bli 0 V. Hvis det er en langsom endring av spenningen, viser dette manglende forbindelse mellom armeringsjerna.

Dersom det ikke måles tilfredsstillende kontinuitet, kan en flytte målepunktene nærmere hverandre eller til andre armeringsjern.

7.12.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Usikkerheten med denne metoden er knyttet til følgende faktorer:

- feil eller manglende kalibrering av måleinstrumentet
- dårlig armeringskontakt
- skade eller brudd på kablene

7.13 Prellhammertest

7.13.1 Metodebeskrivelse - hensikt

Hensikten med metoden er å få en indikasjon på betongens trykkfasthet. Metoden må ikke benyttes til å bestemme betongens trykkfasthet som grunnlag for statiske beregninger.

Metoden er en ikke-destruktiv metode for måling av betongoverflatens fasthet, og kan under homogene forhold grovt sett benyttes som måling av betongens fasthet, dersom verdiene sammenliknes med annen fasthetsmåling, f.eks. trykktesting av utborede kjerner. Metoden er ikke ment å erstatte trykkfasthetsprøving på borkjerner.

Prellhammertest (eller slaghammertest) er beskrevet i NS-EN 12504-2 [38]. Det finnes to type slaghammer – analoge og optiske. Ved analog slaghammer slås et stempel (fjæroppspent utstikkende ståltapp) med fastlagt kraft mot betongoverflaten og rekylverdien (prelltallet) vises i et avlesningsvindu på måleinstrumentet. Ved hjelp av en kalibreringstabell/-graf på måleinstrumentet kan prelltallet omregnes til trykkfasthet i MPa. Prelltallet korrigeres for ulike slagretningene (horisontalt og vertikalt opp og ned) i kalibreringstabellen/-grafene som følger utstyret.



Figur 7.27 Analog prellhammer. (Foto: Stærk & Co as)

Ved optiske slaghammere registreres rekylveien ved hjelp av en innebygd optisk hastighetsmåler som beregner hastighetsendringen på hammerstemplet før og etter slaget. Ved hjelp av en valgt referansekurve og valgte parametere omregnes rekylveien til trykkfasthet.



Figur 7.28 Optisk slaghammer. (Foto: Stærk & Co as)

7.13.2 Utstyr

Følgende utstyr er nødvendig:

- Slaghammer/prellhammer
- Vinkelsliper for å slipe målepunktet plant samt fjerne eventuell overflatebehandling
- Kalibreringsutstyr

De optiske slaghammerne har en tilhørende software for lagring og overføring av måledata til PC eller til mobiltelefon. Softwaren angir måleverdiene og beregner middelerdi for hver prøveserie med beregnet standardavvik.

7.13.3 Fremgangsmåte

Før en går i gang med målingene må måleområdet klargjøres. Det vil omfatte fjerning av eventuell overflatebehandling, fjerning av svakt yttersjikt samt plansliping av målepunktene. Prøvestedet må være uten bom. Eventuelt vann skal også tørkes bort. Måleflaten bør være i området 300 x 300 mm² og minst 25 mm fra konstruksjonens kanter

En måling gjennomføres ved at det gjøres minimum 9 hammerslag mot overflaten som alle plasseres minimum 30 mm fra hverandre. Slaghammeren plasseres vinkelrett på overflaten, slik som vist på figur 7.29. Dersom mer enn 20% av alle målingene avviker med mer enn 30%, må hele settet av målinger forkastes. Dersom et hammerslag treffer porer eller bom skal målingen forkastes. Målingene angis som en gjennomsnittlig verdi av resultatene oppgitt som N/mm².



Figur 7.29 Utførelse målinger med prellhammer. (Foto: Stærk & Co as)

For samtlige målinger beregnes middelerdien og standardavviket.

7.14.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Usikkerheten med denne metoden er knyttet til følgende faktorer:

- feil eller manglende kalibrering av måleinstrumentet
- skader og ujevnheter i betongunderlaget
- skjevstilling av slaghammer mot betongunderlaget/fukt på betongoverflaten

Utstyret kalibreres ved å utføre hammerslag mot et kalibreringsmateriale med kjent rekylverdi i henhold til instrumentleverandørens anvisninger.

7.14 Ultralyd

7.14.1 Metodebeskrivelse - hensikt

Ultralydundersøkelse er en ikke-destruktiv metode som benyttes til å lokalisere svakheter i betongen, skjulte støpefeil, riss, delamineringer m.m. Ultralydmåling er basert på at hastigheten av ultralyd gjennom et materiale er avhengig av materialkvaliteten og porøsitet. Svakhetssoner i betongen medfører nedsatt transporthastighet.

Det vises til NS-EN 12504-4 [39]. Bruk av metoden for å vurdere betongens fasthet forutsetter at det gjennomføres en korrelering av ultralydhastigheten mot trykkfastheten for den aktuelle betongkvaliteten. Dette er nærmere beskrevet i NS-EN 12504-4.

7.14.2 Utstyr

Følgende utstyr er nødvendig:

- Spesialutstyr for ultralydmåling
- Kritt for oppmerking av områder med bom

Dette er spesialutstyr som leveres komplett med sender, mottaker og måleenhet. Det finnes flere produkter på markedet og det pågår arbeid med å utvikle måleinstrumenter som kan benyttes til å skanne store flater.



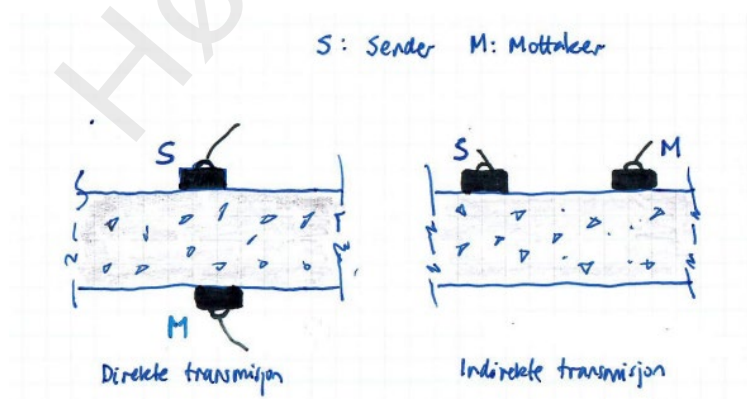
Figur 7.30 Utstyr for ultralydmålinger. (Foto: KIWA as)

Måleutstyret kan enten bestå av ultralydsenhet med kabling til egen senderenhet og mottakerenhet som holdes mot betongoverflaten eller et måleinstrument der sender og mottaker er integrert i måleapparatet. Ultralydpulser sendes fra søker over den kjente avstanden til mottaker, og lydets gangtid registreres.

7.14.3 Fremgangsmåte

Når det gjelder fremgangsmåten ved måling, henvises til leverandørens anvisninger for de ulike produktene.

Ved bruk av utstyr uten integrert sender og mottaker, må senderenhet og mottakerenhet holdes vinkelrett mot betongflaten for avlesning av ultralydhastighet. Måleresultatene logges i måleenheten og kan senere skrives ut i tabell- og diagramform. Ulempen med dette utstyret er at begge hender til inspektøren blir beslaglagt for å holde både sender og mottaker mot betongoverflaten. Størst sikkerhet oppnås dersom sender og mottaker plasseres på motstående sider av betongkonstruksjonen (direkte transmisjon), men sender og mottaker kan også plasseres på samme side av konstruksjonen (indirekte transmisjon) som vist på fig. 7.31.



Figur 7.31 Skisse som viser plassering av sender og mottaker på konstruksjonen ved direkte transmisjon og indirekte transmisjon

Ved separate sender og mottaker slipes betongflaten i målepunktet plant, og søkerne påføres kontaktgel før søkerne plasseres vinkelrett på betongoverflaten. Den minste avstanden mellom sender og mottaker ved direkte transmisjon måles med en nøyaktighet på +/- 1%. Med en kjent avstand og gangtid kan ultralydhastigheten beregnes.

Ved indirekte transmisjon utføres flere målinger med varierende avstand mellom sender og mottaker, fordi det usikkerhet knyttet til faktisk senderavstand (ultralydens transportlengde). Målepunktene plasseres på en rett linje. Transmisjonstida for hvert målepunkt plottes i et diagram som viser sammenhengen mellom transmisjonstid og avstand mellom sender og mottaker. Helningen til den beste rette linjen for målepunktene vil da vise den gjennomsnittlige pulshastigheten langs den valgte linjen på betongoverflaten. Viser målingen en diskontinuitet, dvs. avvik fra den rette linjen i diagrammet, indikerer det riss, bom eller dårlig betong.

De integrerte måleinstrumentene er enklere og mer effektive. Alle data logges i måleinstrumentet og kan senere skrives ut.

7.14.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Det vises til spesifikasjonen for de ulike produktene.

7.15 Relativ fuktighet

7.15.1 Metodebeskrivelse - hensikt

Målemetoden benyttes først og fremst for å måle relativ fuktighet for å vurdere risiko for armeringskorrosjon, om betongunderlaget er egnet for påføring av belegg eller om det er fare for dannelse av muggsopp.

Den relative fuktigheten i betongen måles ved plassering av fuktsensorer i utborede hull for avlesning av resultatet når luften i målehullet og rundt sensoren er i likevekt med betongen for øvrig. Metoden er beskrevet i NS 3511 [40].

7.15.2 Utstyr

Følgende utstyr er nødvendig:

- Slagdrill med riktig bordimensjon tilpasset foringsrøret
- Trykkluft eller støvsuger til rengjøring av hull
- Måleinstrument og sensorer/prober for innmontering i betongen.
- Overdekningsmåler



Figur 7.32 Utstyr for måling av relativ fuktighet. (Foto: Multiconsult AS)

7.15.3 Fremgangsmåte

Når en skal måle relativ fuktighet, må målepunktene plasseres slik at mulige feilkilder minimeres. Det betyr at betongen må være uten skader i form av riss, sprekker eller støpesår der borhullet plasseres. Borhullet må heller ikke komme i konflikt med armeringen. For å unngå dette må armeringsjern lokaliseres med overdekningsmåler i forkant.

Måledybden er først og fremst avhengig av hva som er hensikten med undersøkelsen, men også konstruksjonstype og betongens tykkelse. Måledybden måles fra betongoverflaten. Normalt ønsker en å måle relativ fuktighet i armeringssjiktet. Etter at borhullet er etablert i ønsket dybde, må borhullet rengjøres grundig for alt borstøv med trykkluft eller støvsuging. Diameteren på hullet må tilpasses foringsrøret. Foringsrøret skal slutte tett inntil betongen i hullet. Om nødvendig kan det fuges rundt rørhylsen i betongoverflaten. Foringsrøret føres helt ned til bunnen av borhullet og avsluttes omtrent i nivå med betongoverflaten.

Deretter monteres sensoren i foringsrøret og det tettes rundt kablene til sensoren eller det monteres en gummipropp i hullet som en senere kan føre måleproben gjennom. Måling av RF kan utføres når fuktigheten i borhullet er i likevekt med fuktigheten i betongen. Det vil ta noen tid – et par dager. Måleproben bør kalibreres like før måling iht. leverandørens anvisninger.

Det er viktig at betongen holder rimelig konstant temperatur når en skal måle relativ fuktighet, fordi store variasjoner i betongtemperaturen vil kunne medføre hysteres.

Relativ fuktighet avleses i %, og i mange tilfelle vil en med utstyret også få registrert tilhørende temperatur i borhullet.

7.15.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Målingene bør utføres innenfor temperaturer mellom 15 og 25 °C. En grads temperaturforskjell mellom borhull og probe kan gi feil på inntil 5% RF.

Nøyaktigheten på en ny måleprobe skal være bedre eller lik $\pm 2\%$ ved 85% RF og 20 °C.

Usikkerheten med denne metoden er knyttet til følgende faktorer:

- feil på måleinstrument og sensor
- temperaturvariasjoner
- lekkasjer i konstruksjonen inn i borhullet
- kondensdannelse i borhullet

7.16 Korrosjonshastighet

7.16.1 Beskrivelse av metoden – hensikt

Korrosjonshastighet kan måles i felt eller i laboratoriet ved lineær polarisasjonsresistans (LPR). Det er mest vanlig å utføre denne undersøkelsen i felt, men den kan også brukes i laboratorie.

Korrosjonshastigheten viser hvor mye jern som oppløses over et gitt areal per tidsenhet.

Metoden kan benyttes for å dokumentere:

- Korrosjonstilstanden til armering
- Effekten av vedlikeholds- og reparasjonstiltak
- Restlevetid til konstruksjonen basert på tillatt tverrsnittsreduksjon til armering

Prinsippet ved LPR-målinger er at det sendes en mengde likestrøm pr. tidsenhet til armeringens overflate som er tilstrekkelig stor til at korrosjonen på armeringen opphører. Denne likestrømmengden pr.tidsenhet er ekvivalent med korrosjonshastigheten på armeringsoverflaten og måles $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Korrosjonshastigheten viser hvor mye jern som oppløses over et gitt areal per tidsenhet.

7.16.2 Utstyr

Følgende utstyr benyttes:

- Motelektrode - et elektrisk ledende materiale som ikke korroderer i eksponeringsmiljøet
- Referanseelektrode - en elektrode som har stabilt egenpotensial i eksponeringsmiljøet
- Meislemaskin
- Voltmeter eller potensiostat

7.16.3 Fremgangsmåte

Ved LPR-måling benyttes et voltmeter eller en potensiostat og tre elektroder – arbeidselektrode, motelektrode og referanseelektrode. Arbeidselektroden er armeringen som skal undersøkes.

Motelektroden og referanseelektroden kan enten støpes inn i betongen eller monteres på betongoverflaten.

Ved å påtrykke stålet et elektrisk signal vil stålets elektriske respons si noe om størrelsen på korrosjonsstrømmen og om det foregår en elektrokjemisk aktivitet i betongen. Høy LPR-verdi indikerer lav korrosjonshastighet, mens lav LPR-verdi indikerer at stålets passive tilstand er nedbrutt og at korrosjon pågår. Korrosjonshastighetsmålingen viser hastigheten i det øyeblikket den er tatt og i det eksponeringsmiljøet hvor undersøkelsene foretas. Dersom armeringen ligger i flere lag, kan man måle korrosjonshastigheten kun i det ytterste laget.

Korrosjonshastighet oppgis i $\mu\text{m}/\text{år}$.

7.16.4 Usikkerhet/nøyaktighet

Nøyaktighet antas å være rundt $\pm 50\%$.

Lokal korrosjon (groptæring) er typisk ved kloridinitiert korrosjon. Dette kan påvirke nøyaktigheten til målingene. For å kompensere for groptæringen kan man ta hensyn til pittingfaktoren, som viser forholdet mellom generell og lokal korrosjon. De anbefales derfor å undersøke armeringen ved opphugging for verifikasjon av målingene i kloridinfisert betong.

Høringsutkast juni 2022

8. Metoder for laboratorieundersøkelser

8.1 Aktuelle undersøkelsesmetoder

Det er flere laboratorieundersøkelser som kan være aktuelle å utføre i forbindelse med en tilstandskontroll av betongkonstruksjoner for å avdekke skadeårsak eller kartlegge betongens egenskaper. Tabellen nedenfor viser en oversikt over laboratorieundersøkelsene som kan være aktuelle i forbindelse med tilstandskontroll av betongkonstruksjoner. Noen av disse metodene utføres ofte i forbindelse med tilstandsanalyser, men mange utføres svært sjeldent. Disse metodene er tatt med i oversikten nedenfor for å gi et mest mulig utfyllende bilde av mulige undersøkelser. Formålet med tilstandsanalysen og behovet for informasjon om betongkonstruksjonen er bestemmende for hvilke undersøkelser det er behov for.

Materialanalyser for å avdekke miljøgifter i betongen eller overflatebehandlingen finnes også, men disse er ikke omtalt i denne publikasjonen. Disse analysene må utføres spesialfirmaer.

Tabell 8.1 Aktuelle laboratorieundersøkelser ved tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner

Undersøkelses metode	Analysenivå	
	Nivå 2	Nivå 3
Trykkfasthet	✓	✓
Densitet	✓	✓
Strekfasthet		✓
E-modul (statisk)		✓
Kloridanalyse ved potensiometrisk titrering	✓	✓
Karbonatiseringsdybde	✓	✓
Sementinnhold		✓
Alkalireaktivitet		✓
Differensial termisk analyser (DTA)		✓
Strukturanalyse		
• Planslip til visuell analyse	✓	✓
• Tynnslip til optisk mikroskop analyse		✓
• Polerslip til sveipe-elektronmikroskopi (SEM)		✓
Porøsitet, PF-metoden		✓
Frostprøving		✓
Kloriddiffusjon		✓
Elektrisk motstand		✓
Diffusjonsåpenhet		✓
Mikro røntgenfluorescens (μXRF)		✓
Kontroll av armeringsstål		✓
Overflatebehandling		✓

Hensikten med dette kapitlet er å gi en kort beskrivelse av de ulike undersøkelsesmetodene, når de brukes samt hvilken informasjon en får om betongkonstruksjonen. Metodene beskrives ikke i detalj da disse undersøkelsene normalt utføres av sertifiserte laboratorier iht. standarder.

8.2 Trykkfasthet

8.2.1 Beskrivelse av metoden - hensikt

Når man ikke kjenner til hvilken betongkvalitet som er benyttet og trenger å beregne bæreevnen til den eksisterende konstruksjonen, må man måle betongens karakteristiske trykkfasthet.

Trykkfastheten bestemmes ved å påføre en betongsylinder et enaksialt trykk inntil betongen knuses. Sylinderens bruddlast og bruddform skal dokumenteres i prøverapporten. Ikke alle bruddformer er tilfredsstillende eller akseptable.

Selve prosedyren for trykking av kjerner skal følge NS-EN 12390-3 [41] med en prøvemaskin i henhold til NS-EN 12390-4 [42]. Vurdering av trykkfasthet i ferdige betongkonstruksjoner gjøres i henhold til NS-EN 13791 [43].

8.2.2 Krav til borkjernene

NS-EN 12504-1 [40] gir veiledning for uttak av betongkjerner til testing av trykkfastheten.

For testing av trykkfasthet skal kjernen, etter endt bearbeiding, ha et forhold mellom høyde og diameter mellom 1 og 2. For å kunne beregne karakteristisk fasthet bør antall borkjerner i en prøveserie bestå av et minimum av prøvestykker. Dette bør hensyntas ved uttak av kjerner. Prøvene skal være fri for armering, sprekker eller andre svakhetstegn. Kjernens diameter($\varnothing$) bør være mellom 50-100 mm.

Ifølge NS-EN 13791 [43] skal antall prøvestykker velges ut ifra størrelsen på betongområdet som skal vurderes iht. tabell 8.2.2.

Tabell 8.2.2 Valg av diameter og antall borkjerner basert på størrelsen på betongområde å testes.

Testområdet	Kjernestørrelser	Antall godkjente prøveresultater	Anbefalt antall kjerner
Liten 1-3 elementer eller konstruksjon < 10 m ³	$\varnothing > 75$ mm	3 stk	4 stk
Stor Elementer eller konstruksjoner >10 m ³	$\varnothing > 75$ mm	8 stk	10 stk
Stor Elementer eller konstruksjoner >10 m ³	$\varnothing 50$ mm	12 stk	14 stk

8.2.3 Fremgangsmetode - beregning av fasthet

Borkjernen undersøkes først med hensyn til skader. Deretter kappes borkjernen i henhold til planlagt utnyttelse av kjernen. En bør tilstrebe å oppnå høyde-/diameterforhold mellom 1 og 2. Høyde-/diameterforhold under 1,0 bør man generelt unngå, og det bør aldri være under 0,75. Trykkflatene klargjøres til trykkprøving i henhold til NS-EN 12390-3 [41]. Plansliping er den vanligste metoden. De bearbeidede borkjernene lagres under vann ved 20 ± 2 °C i minst to døgn før prøving iht. NS-EN 12504-1 [44].

Trykkprøvingen utføres i henhold til NS-EN 12390-3 [41]. Når borkjernene skal trykktestet, tas borkjernen opp av vannbadet og borkjernen tørkes av på trykkflatene med en fuktig klut. Deretter plasseres borkjernen i prøvemaskinen slik at den får sentrisk belastning og belastes til brudd. Ved brudd registreres bruddlasten, $F_{c,i}$, og bruddformen.



Figur 8.1 Måling av trykkfasthet. (Foto: Multiconsult AS)

Sylinderens trykkfasthet er avhengig av høyde-/diameterforholdet til prøvestykket. Hvis høyde-/diameterforholdet er lik 2 blir sylindertrykkfastheten, $f_{c,i}$, lik bruddlast/sylinderarealet, $F_{c,i}/A_{c,i}$. Har sylinderen et lavere høyde-/diameterforhold skal sylinderens trykkfasthet reduseres med omregningsfaktoren a iht. tabell L5:b i NS 3420 [45]. Trykkfastheten blir da $f_{c,i} = a \cdot F_{c,i}/A_{c,i}$. Tabell 8.2.3 viser hvilken omregningsfaktor som skal benyttes ved ulike høyde-/diameterforhold.

Tabell 8.2.3 Omregningsfaktor for redusert høyde-/diameterforhold på prøvestykket

Høyde-/diameterforhold	0,75	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0
Omregningsfaktor							
a	0,76	0,87	0,89	0,93	0,95	0,97	1,0

Middelverdien av sylinderfastheten blir da $\sum f_{c,i}/n$, der n er antall prøvestykker. Dette er ikke det samme som karakteristisk trykkfasthet som benyttes ved etterregning av en konstruksjon. Karakteristisk sylinderfasthet beregnes i henhold til NS-EN 13791 [43].

8.3 Densitet

8.3.1 Beskrivelse av metoden - hensikt

Når man ikke kjenner til hvilken betong som er benyttet og trenger å beregne bæreevnen til den eksisterende konstruksjonen, trenger man betongens egenvekt. Densiteten finnes ved å veie prøven i luft og vann for deretter å beregne densiteten som forholdet mellom vekt og volum. Densiteten måles ofte samtidig med trykktesting på samme prøvelegeme før trykktesting.

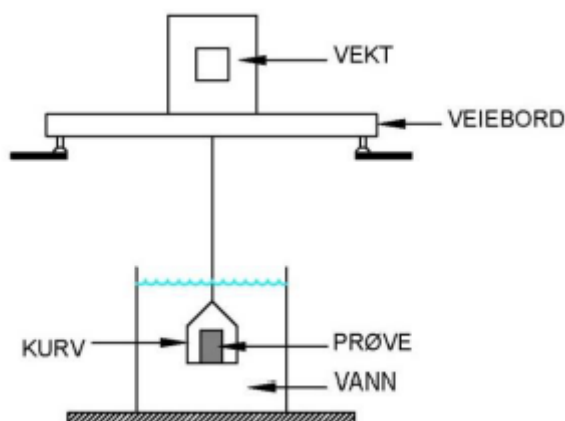
Måling og beregning av densitet skal utføres i henhold til NS-EN 12390-7 [46].

8.3.2 Krav til prøvestykker

Prøvestykkene kan være av forskjellig form og størrelse eller de kan tas ut fra utborede kjerneprøver. Prøvelegemet bør være større enn 0,785 liter og være representativt for betongen, det vil si at forholdet mellom pasta- og tilslagsvolumet bør være tilnærmet likt som betongen for øvrig.

8.3.3 Fremgangsmetode - Beregning av densitet

Prøvestykkene skal vannlagres ved 20°C (±2°C) inntil vektøkningen til prøvestykket ikke er større enn 0,2 % i løpet av 24 timer. Prøvestykkene veies nedsunket i vann, m_2 .



Figur 8.2 Utstyr til beregning av betongdensitet

Deretter skal prøvestykkene tørkes av med fuktig klut før veiing og veies i luft, m_1 . Densiteten, ρ , angis i kg/m³ og beregnes med en nøyaktighet på ± 10 kg/m³. Densiteten kan beregnes etter formelen:

$$\rho = m_1/V, \quad \text{der } V = (m_1 - m_2)/\rho_w \text{ og } \rho_w \text{ er vannets densitet på } 1000 \text{ kg/m}^3.$$

Densiteten kan da uttrykkes som:

$$\rho = m_1/V = m_1 \cdot \rho_w / (m_1 - m_2)$$

8.4 Strekkfasthet

8.2.1 Beskrivelse av metoden - hensikt

Strekkfastheten bestemmes ved å påføre et prøvestykke et enaksialt strekk inntil betongen sprekker. Prøvens bruddlast og bruddform skal dokumenteres i prøverapporten. Undersøkelsen kan være aktuell i forbindelse med kontrollregning av betongkonstruksjonen.

Betongens strekkfasthet kan testes etter SINTEF Byggforsk prøvemethode «Bestemmelse av E-modul og fasthet ved sentrisk strekk». Metoden er beskrevet i Byggetalblad 520.031 [47].

8.4.2 Krav til prøvestykket

Til denne testen benyttes tilskjærte rektangulære betongprøver med dimensjon 100x100x600 mm. Det er viktig at prøvene er representative for betongen og fri for armering, riss eller andre svakhetstegn.

8.4.3 Fremgangsmetode - beregning av strekkfasthet

Endeflatene til prøvestykket planslipes og pålimes stålplater for deretter og monteres i strekkmaskinen. Strekkfastheten bestemmes ved å påføre et enaksialt strekk inntil det oppstår brudd i betongen. Sideflater som testes må være planparallelle.

Et alternativ til påliming av stålplater er å klemme prøvestykket fast i hver ende med en festeanordning.

Strekkfastheten angis i MPa og beregnes ved å dividere bruddlasten (N) på prøvestykkets tverrsnittareal (mm²), N/A. Nøyaktighet for metoden er ca. ± 0,05 MPa. Bruddets studeres visuelt etter prøving og bruddet skal gå 100% i betongen, ikke i limet eller i overgangen mellom stålplatene og betongen.

8.5 E-modul

8.5.1 Beskrivelse av metoden - hensikt

Elastisitetsmodulen (E-modul) sier noe om betongens stivhet og angis i GPa. E-modulen måles vanligvis samtidig med prøving av trykkfastheten eller strekkfastheten. Undersøkelsen kan være aktuell i forbindelse med kontrolleregning av betongkonstruksjonen.

E-modul kan beregnes ved trykkprøving (mest vanlig), strekkprøving eller som dynamisk E-modul. E-modulen ved trykkprøving er sammenhengen mellom aksialtrykk og betongens deformasjon i lastretningen ved elastisk deformasjon.

Prøvingen utføres i henhold til NS-EN 12390-13 [48].

8.5.2 Krav til kjernene

Kjernene for bestemmelse av E-modul ved trykkprøving skal ha diameter 100 mm og høyde 200 mm.

8.5.3 Fremgangsmetode - Beregning av E-modul

E-modul bestemmes ved å påføre kjernen et enaksialt trykk mens deformasjonen til kjernen registreres ved hjelp av deformasjonsmålere montert sentrisk midt på betongsylanderens høyde.

E-modulen, E_c , beregnes etter formelen:

$$E_c = (\sigma_2 - \sigma_{02}) / \epsilon_{02}$$

hvor:

E_c	= elastisitetsmodulen i GPa
σ_2 og σ_{02}	= belastningsnivåene i MPa
ϵ_{02}	= tøyningen i ‰ fra belastning σ_2 til σ_{02}

8.6 Kloridanalyse ved potensiometrisk titrering

8.6.1 Beskrivelse av metoden - hensikt

Ved potensiometrisk titrering bestemmes kloridinnholdet ved å måle endringene i elektrokjemisk potensial. Denne metoden anvendes dersom en ønsker en mer nøyaktig måling av kloridinnholdet i betongen enn det feltmetodene (RCT og Quantab) gjør.

Metoden bestemmer kloridinnholdet i betongstøv ved hjelp av titreringsutstyr. Det benyttes en sølvnitratløsning som titrant og titreres trinnvis til likevekt er oppnådd. Dette gjøres ved overvåkning av potensialet mellom referanseelektroden og løsningen med betongstøvet mens sølvnitrat tilsettes trinnvis. Analysen gjennomføres i henhold til NS-EN 14629 [49].

8.6.2 Innsamling av betongstøv

Betongstøv tas fra borede kjerneprøver ved fresing i forskjellige sjikt (innover).

Kjernen bør ha diameter på 100 mm slik at en kan få ut tilstrekkelig med betongstøv i hvert sjikt. Dersom en skal bruke en kjerneprøve med mindre diameter, må dette avklares med laboratoriet først. Tykkelsen på sjiktene kan være helt ned til 1 til 2 mm. Kjernene bør ikke inneholde forurensninger som maling eller armering, siden dette vil påvirke resultatet av analysene. Forurensninger og malingsbelegg fra betongoverflaten må fjernes før prøvetaking.

8.6.3 Fremgangsmetode - beregning av kloridinnhold

Prøven tørkes i ovn til konstant vekt på 105 ± 5 °C og deretter avkjøles til romtemperatur, f.eks. i en eksikator. Når det er avkjølt, skal det males til et fint pulver og siktes gjennom en siktstørrelse 1,18 mm eller mindre, og deretter homogeniseres.

Mellom 1 g og 5 g betongpulver skal veies og legges i et 250 ml beger, fuktes med 50 ml vann, og tilsettes 10 ml 5 mol/l salpetersyre, etterfulgt av 50 ml varmt vann.

Blandingen skal varmes opp til kokepunktet og kokes i minst 3 minutter under kontinuerlig omrøring.

Kloridinnholdet bestemmes med 0,1 M sølvnitratløsning ved potensiometrisk titrering. Forbruk av sølvnitratløsning, V_3 , i titreringen noteres.

Den første derivatmetoden skal benyttes. Førstederivat er en teknikk for å legge til små alikvoter av titrant til prøven, registrere potensielle endringer og bruke en førstederivatanalyse på dataene, hvorfra endepunktet beregnes. Teknikken antar at endringen i mV-avlesning per tilsatt volum og titrant vil være størst ved endepunktet.

Utfør samme prosedyre med en referanseprøveløsning (med tilsatt klorid som for prøver hvis det er aktuelt) og noter volumet, V_4 , av sølvnitratløsning som ble brukt i referansetitreringen.

$$CC = 3,545 * f * (V_4 - V_3) / m$$

V_3 = volumet av sølvnitrat løsningen benyttet i tritreringen (ml)

V_4 = volumet av sølvnitrat løsningen benyttet i referansetitreringen (ml)

m = vekt av betongstøvet

f = molariteten til sølvnitratløsningen

8.7 Karbonatiseringsmåling

8.7.1 Beskrivelse av metoden - hensikt

Karbonatiseringsmålinger utføres for å undersøke hvor langt karbonatiseringen er kommet og om karbonatiseringsfronten nærmer seg armeringen i betongen.

Det finnes flere metoder for kartlegging av karbonatiseringsdybder som måling med pH-indikator, differensial termisk analyse (DTA) (omtalt i kapittel 8.10), røntgendiffraksjon (XRD), tynnslipanalyse med mikroskop, eller sveipeelektronmikroskopi (SEM) (ref. kapittel 8.11). Spesielle undersøkelser for måling av karbonatiseringsdybder som DTA, XRD, tynnslipanalyse eller SEM anvendes sjelden fordi pH-indikator ofte gir tilstrekkelig nøyaktighet.

Måling med pH-indikator er den mest vanlige metoden i laboratorium, og det er den som omtales her. Vurdering av karbonatiseringsdybden utføres i henhold til NS-EN 12390-10 [50]. Akselerert karbonatisering utføres iht. NS-EN 12390-12 [51].

8.7.2 Krav til prøvelegemet

Det er ingen krav til form på prøvelegemet annet enn at prøven skal ha en eksponert overflate. Dimensjonen skal være større enn overdekningen til armeringen og prøvestykket skal kunne splittes slik at en får en frisk overflate for testing.

8.7.3 Fremgangsmetode

Karbonatisering kan undersøkes på laboratoriet ved splitting av en kjerne eller et annet prøvestykke. Det er viktig at den ytre betongoverflaten er med på prøvestykket og at splittingen skjer normalt på betongoverflaten.

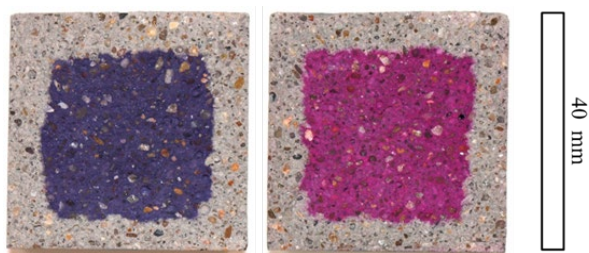
Karbonatiseringsdybden påvises ved å sprøyte en pH-indikator på den ferske bruddflaten i betongen. Fenolftaleinløsning har vært brukt i mange år som pH-indikator, men er nå klassifisert som helsefarlig av Miljødirektoratet. Det anbefales nå å benytte tymolftaleinløsning i stedet som pH-indikator. Etter at snittflaten har tørket etter påsprøyting, kan avlesning og måling av karbonatiseringsdybden foretas. «Frisk betong», som ikke er karbonatisert, får en fargeendring til rosa eller blå, mens karbonatisert betong forblir uten farge.

Karbonatiseringsdybden er avstanden fra betongoverflaten og inntil området med fargeomslag og kan måles ved hjelp av tommestokk eller skyvelære.

Hvis man skal beregne karbonatiseringshastigheten eller utviklingen til karbonatiseringsprosessen anbefales det å ta flere målinger fra samme område.

Noen ganger er det vanskelig å påvise selve karbonatiseringsfronten. Dette kan skyldes følgende:

- Karbonatiseringsfronten er ujevn (uten at dette skyldes tilslaget).
- Tilsetningsstoffer for betong gjør det vanskelig å identifisere fronten.
- Elementet som undersøkes er gjennomkarbonatisert.
- Fargeutslag ved bruk av tymolftaleinløsning kan være vanskelig å se på mørk betong



Figur 8.4: Sammenligning av 1% fenolftalein løsning (høyre) og 1% tymolftalein løsning (venstre) påsprøytet på en frisk bruddflate av karbonatisert mørtel, (Foto: NTNU, 2018)

8.8 Sementinnhold

8.8.1 Beskrivelse av metoden - hensikt

Ved behov for nøyaktige kloridanalyser med ukjent sementinnhold kan det være behov for å måle sementinnholdet i betongen. Det kan også være interessant ved reparasjon av antikvariske konstruksjoner der man ønsker å lage en reparasjonsmørtel som er tilnærmet lik originalen.

Sementinnholdet kan bestemmes ved kjemisk analyse eller differensial termisk analyse (DTA). DTA er nærmere beskrevet i kapittel 8.10. Sementinnholdet angis i kg/m^3 av betong. Kjemisk analyse utføres i henhold til ASTM C1084 – 19 [52] og omtales i dette kapitlet.

8.8.2 Krav til prøvemateriale

Det benyttes betongstøv til bestemmelse av sementinnholdet. Støvet må være finmalt og være representativt for betongen. Minimum mengde støv som kreves for en slik analyse er 5-40 mg.

8.8.3 Fremgangsmåte - kjemisk analyse

Ved kjemisk analyse løses betongstøvet i syre og innholdet av syreløslige silikater sier noe om sementinnholdet. Ved å sammenligne silikatinholdet i en ukjent prøve med silikatinholdet i den sementen som er benyttet, kan sementinnhold beregnes. For å få et nøyaktig resultat må benyttet sementtype være kjent.

Dersom sementen er tilsatt silika eller flygeaske, som også er syreløselige, må også kalsiuminnholdet bestemmes. Ut fra balansen mellom syreløslige silikater og kalsium, kan man vurdere sementinnholdet. I en kalsiumanalyse må ikke betongen inneholde kalkholdige tilslag, fordi dette vil gi uriktige resultater.

8.9 Alkalireaktivitet

8.9.1 Beskrivelse av metoden - hensikt

Hensikten med de beskrevne metodene for alkalireaktivitet er

todelt:

- Dokumentere om det foregår alkalireaksjoner i betongen, samt omfang av evt. skader (intern opprissing). Det foretas først en nøye visuell kontroll av utborede betongkjerner, etterfulgt av en strukturanalyse med undersøkelse av planslip og tynnslip. Strukturanalyse er nærmere beskrevet i kapittel 8.11.
- Undersøke evt. potensiale for videre ekspansjon av betongen. Ved slike restekspansjonsmålinger lagres utborede betongkjerner i laboratoriet under akselererte betingelser og ekspansjonsutviklingen måles over tid. Det bemerkes at resultatene er vanskelige å tolke, og samsvaret mellom laboratorieresultater og felt er meget usikre. Slike målinger bør derfor kun

brukes som et supplement til feltobservasjoner (ekspansjon i felt over tid) og evt. andre laboratorieundersøkelser. Noen ekspansjonsmetoder som benyttes av ulike laboratorier er kort omtalt i kapittel 8.9.3.

8.9.2 Krav til prøvemateriale

Det er meget viktig at borkjernene som benyttes er representative for de delene av konstruksjonen som skal undersøkes, spesielt fordi omfanget av evt. alkalireaksjoner kan variere mye over en konstruksjon bl.a. avhengig av lokalt eksponeringsmiljø, belastning og armeringsmengde. For strukturanalyse er typiske dimensjoner Ø100 og lengde minimum ca. 200-300 mm. Hvis formålet er å dokumentere om alkalireaksjoner foregår, bores gjerne kjernene midt i knutepunkt i de typiske krakeleringssissene. For restekspansjonsmålinger vil kjernedimensjon avhenge av hvilken ekspansjonsmetode som benyttes i laboratoriet, og ved utboring bør man følge en spesiell bore- og pakkeprosedyre.

8.9.3 Fremgangsmåte ved restekspansjonsmålinger

Det finnes ingen standardiserte metoder for å tallfeste evt. restekspansjon av betongen i deler av en konstruksjon. Noen laboratorier i ulike land utfører imidlertid slike målinger, men både størrelse på prøvestykker og eksponeringsmiljøet varierer. Felles for metodene er at det monteres måleknaster i prøvestykkene som tildannes fra de utborede kjernene, og at prøvestykkene eksponeres i akselererte miljø over tid. Eksponeringsmiljøet varierer imidlertid både mht. fukttilgang, evt. tilførsel av alkalier og eksponeringstemperatur. For alle metodene måles ekspansjonsutviklingen over tid, minimum i ett år, men gjerne i 2-3 år.

I Norge er noen av metodene prøvd ut i forbindelse med forskningsprosjekt. En av metodene som er benyttet er Betongprismemetoden [53], hvor de tildannede prøvestykkene lagres ved 100 % RF (på rister over vann) i en tett container som er plassert i et rom med 38°C. Dimensjon av prøve-stykkene har variert, men for å unngå større feilkilder bør det benyttes kjernedimensjon ca Ø150 og ca lengde 300 mm.

8.10 Differensialtermiske analyser, DTA

8.10.1 Beskrivelse av metoden - hensikt

Metoden går ut på å identifisere ulike stoffer i betongen ved (differensial)-termogravimetrisk analyse (DTA/TGA) av små pulverprøver av betongen. Forskjellige kjemiske sammensetninger i betongen (spesiell sementpasta) kan identifiseres ved hjelp av denne metoden og kan benyttes til å påvise f.eks. følgende:

- Karbonatiseringsgraden (forholdet mellom kalsiumhydroksid og kalsiumkarbonat)
- Ettringittinnhold ved sulfatangrep
- Hydratiseringsgrad til betongen
- Potensielle skader pga. brann (prøver analyseres raskest mulig etter brannen)

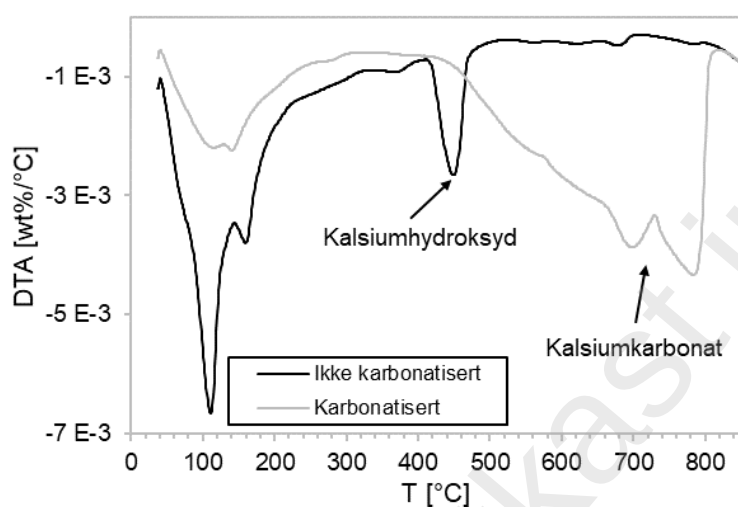
8.10.2 Krav til prøvemateriale

DTA-analyser utføres på støvprøver fra betongen. Støvprøvene må være finmalt og representative for betongen. Det benyttes 0,3-0,5 g per analyse. Fresing av støv fra kjerner er vanlig metode for innsamling av støv. Finmalt betongstøv karbonatiseres veldig rask ved eksponering i luft. Det er derfor viktig å holde prøvemateriale i lukkede lufttette beholdere.

8.10.3 Fremgangsmåte

Støvnprøvene oppvarmes vanligvis fra romtemperatur og opp til ca. 900 °C med en temperaturhastighet på 10-20 °C/min avhengig av hvilken sementfase man ønsker å undersøke. Vekten kontrolleres ved hver temperaturøkning.

Metoden er basert på fysiske og kjemiske forandringer som foregår i betongstøvet mens temperaturen økes gradvis. Ulike stoffer i betongstøvet går over i en faseendring (H_2O/OH^- eller CO_2 fra strukturen går av) ved ulike temperaturer og en får plutselige dropp i DTA-kurven for disse stoffene. Ved å sammenholde temperatur og vektendring kan stoffer identifiseres og mengdene beregnes – mao. kvantitativ bestemmelse av mengde stoff. For eksempel fordampner vannet ved 100 °C, som er synlig pga. en dropp i prøvevekt rundt 100 °C, se figuren nedenfor. Denne metoden krever god kunnskap om metoden og erfaring med tolking av måleresultatene.



Figur 8.5: DTA resultater som viser forholdet mellom kalsiumhydroksyd og kalsiumkarbonat på samme betong avhengig av karbonatiseringsgraden, (NTNU, 2018).

8.11 Strukturanalyse

8.11.1 Beskrivelse av metoden - hensikt

Ved strukturanalyse av betong er en visuell undersøkelse av innsendt prøvemateriale alltid viktig, da dette gir et førsteinntrykk av betongens tilstand, se figur 8.6. Strukturanalyse av betong er en fellesbenevnelse for planslip- og tynnslipanalyse. I enkelte tilfeller kan også sveipeelektronmikroskopi (SEM-analyse) inkluderes i strukturanalysen. Metodene benyttes til å analysere betongens porestruktur, riss, reaksjonsprodukter (alkalireaksjoner) og karbonatisering. Det henvises i denne sammenheng til metodebeskrivelsen i Byggforskserien 520.032 [54].



Figur 8.6 Oversiktsbilde av en borkjerne. Merk det tydelige risset som går inn fra overflaten samt «gap» i noen av kontaktsonene mellom tilslag og sementpasta. (Foto: SINTEF Community)

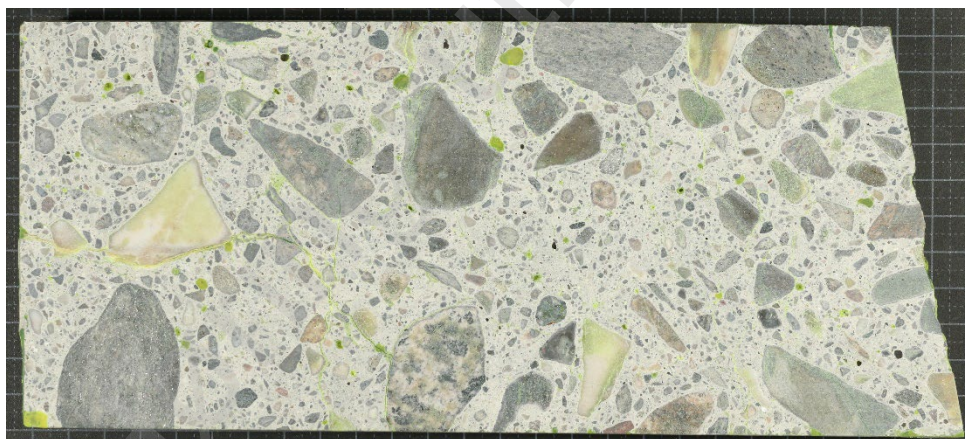
8.11.2 Krav til kjernene

I en strukturanalyse undersøkes kun en liten del av konstruksjonen og det er derfor svært viktig at prøvestykket er representativt for betongen. Prøvestykkene tas vanligvis ut fra utborete betongkjerner og en bør prøve å unngå armering i prøven.

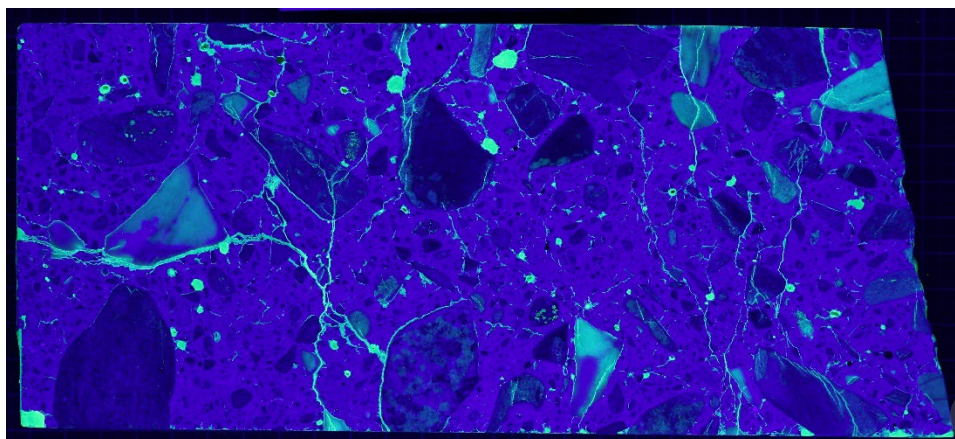
Kjernene har ingen eksakte krav til diameter og lengde, men vanlig størrelse er diameter på min 100 mm og lengde minimum 200-300 mm.

8.11.3 Planslip - makroanalyse

For framstilling av planslip sages kjerneprøven på langs, og den ene halvdel impregneres med fluorescerende epoksy. Etter impregnering og herding av epoksyen slipes betongen ned. Planslipflaten undersøkes så visuelt i vanlig lys og i ultrafiolett (UV) lys, ref figur 8.7 og 8.8 Et stereomikroskop påmontert UV-filtre kan også om ønskelig benyttes. Epoxyen vil trenge inn i hulrom og riss/sprekker slik at disse blir tydelige ved UV-belysning.



Figur 8.7 Bildet viser planslipet fra samme kjerne som den som er avbildet under visuell undersøkelse på figur 8.6. Steintilslaget er noe ujevnt fordelt i betongen. (Foto: SINTEF Community)



Figur 8.8 Bildet viser det samme planslipet som i figur 8.7 fotografert i UV-lys. Det kan observeres en del riss i tilslag, samt en del riss fra tilslag ut i sementpastaen. (Foto: SINTEF Community)

Ved planslipanalyse kan man dokumentere følgende:

- Tilstanden til betongen samt skader i betongoverflaten
- Riss og rissmønstre
- Betongens homogenitet (eventuell separasjon)
- Type grovt tilslag (knust eller uknust)
- Luftporer
- Type tilslag
- Tegn på alkalireaksjoner

8.11.4 Tynnslip - mikroanalyse i polarisasjonsmikroskop

Et tynnslip prepareres vanligvis også fra kjerner som er boret ut fra konstruksjonen. Hvis man preparerer planslip og tynnslip fra samme kjerner, tar man ut prøvestykket til tynnslip fra den halvdelen av kjernen som ikke benyttes til planslip. Prøven vakuumimpregneres med flourescerende epoksy, monteres på et dekkglass, og slipes så ned til ca. 25 μm , se figur 8.9.



Figur 8.9 Tynnslipprøve. (Foto: Multiconsult AS)

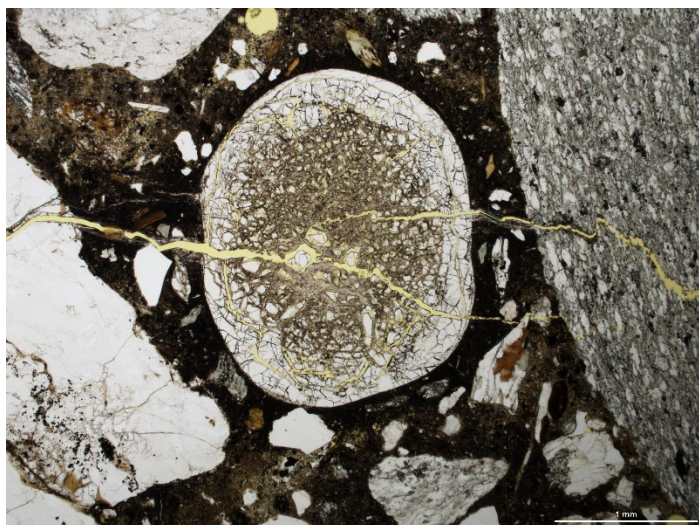
Tynnslipet undersøkes ved hjelp av et polarisasjonsmikroskop (figur 8.10) med vanlig lys, polarisert lys og fluorescerende lys.

Ved tynnslipanalyse kan man dokumentere:

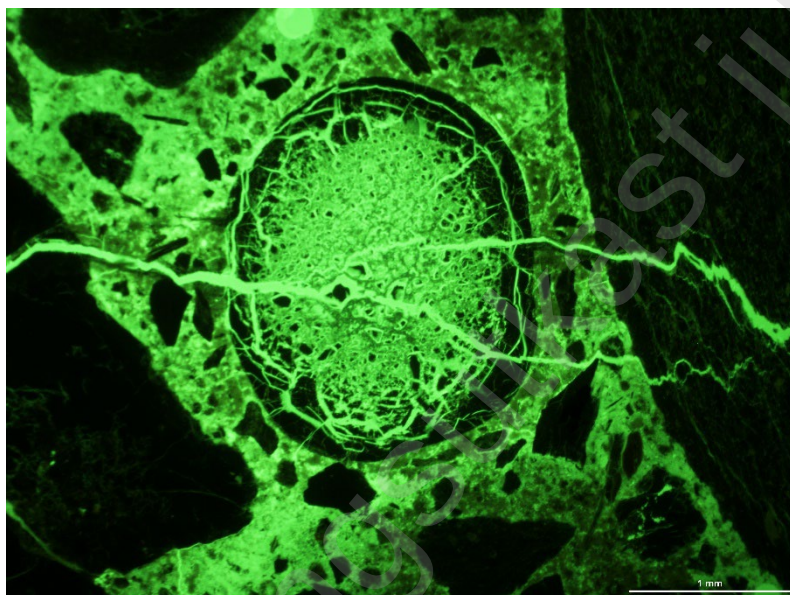
- Hydratiseringsgrad (SEM-analyse er imidlertid bedre egnet)
- v/c-forhold
- Porøsitet
- Riss/rissmønstre
- Luftporer
- Tilslagstyper
- Karbonatiseringsdybde (når tynnslipet er plassert fra overflaten og innover)
- Utfellinger i riss/porer
- Påvisning av alkaligel og alkalireaktivt tilslag



Figur 8.10 Polarisasjonsmikroskop for analyse av tynnslip. (Foto: Norconsult AS)



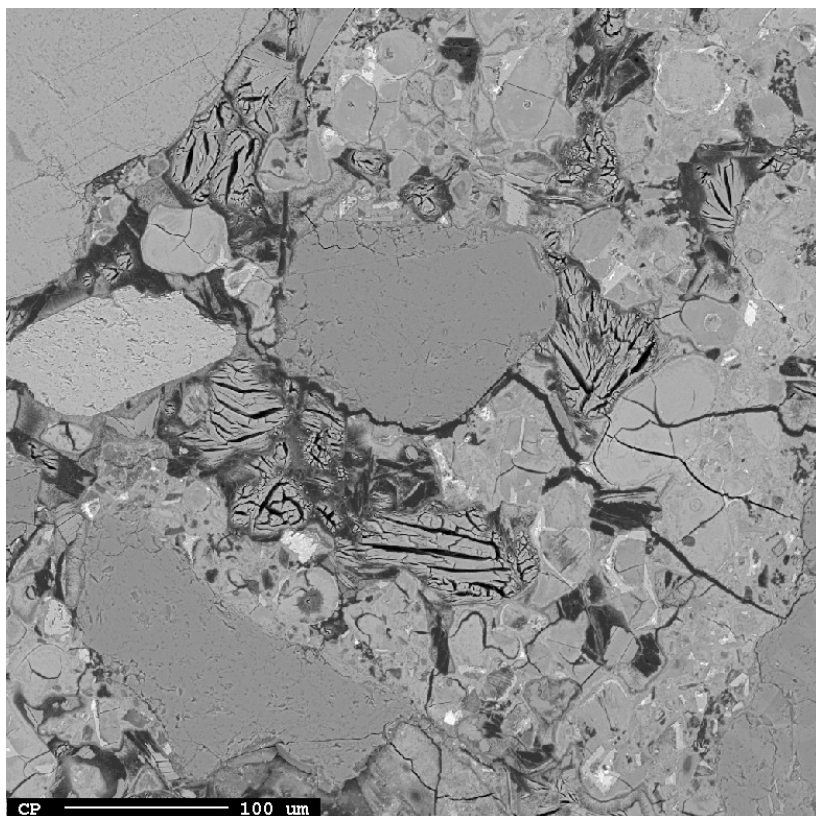
Figur 8.11 Utsnitt fra tynnslip. Bildet viser alkali-silika-gel i luftpore og riss mellom to bergartskorn. (Foto: SINTEF Community)



Figur 8.12 Samme bildeutsnitt av tynnslipet som vist i figur 8.11, men fotografert i fluorescerende lys. Med denne belysningsformen kommer rissene tydelig fram. (Foto: SINTEF Community)

8.11.5 Sveipeelektronmikroskopi (SEM- analyse)

Til SEM-analyse tas det ut et lite prøvestykke fra en betongkjerne, og det kan enten framstilles polerslip eller polerte tynnslip. Ved å framstille sistnevnte kan samme preparat benyttes både ved tynnslipanalyse og SEM-analyse. Før SEM-analysen må preparatet belegges med karbon på overflaten for at denne skal bli elektrisk ledende. Under SEM-analysen bestråles preparatet med elektroner, og forskjeller i tetthet i materialet kommer fram som forskjeller i gråtoneverdier som vist på figur 8.13. I tillegg kan kjemisk sammensetning i materialet (elementfordelingen) bestemmes.



Figur 8.13 SEM-bilde av betong som blant annet viser oppsprukne, «nek-formede» svovelforbindelser i sementpastaen. (Foto: SINTEF Community)

Ved SEM-analyse kan man dokumentere følgende:

- Kjemisk sammensetninger i betongen samt utfellinger i porer og riss
 - Sementtype
- Hydratiseringsgrad

8.12 Porøsitet - PF-metoden

8.12.1 Beskrivelse av metoden - hensikt

PF-metoden er brukt til å måle kapillær sugeshastighet og porøsitet i herdet betong. Porøsitet bestemmes ved fullstendig uttørking og deretter vannmetting av prøver. Porøsiteten måles for å vurdere betongens frostmotstand.

Det henvises til metode 426 i Statens vegvesen sin håndbok R210 [55].

8.12.2 Krav til prøvestykkene

Prøvestykker tildannes av utborede kjerner. Prøvestykkene må være representative for konstruksjonen. Én prøve kan bestå av flere prøvestykker hvor følgende retningslinjer gjelder:

- det totale prøvevolumet bør være større enn 200 cm³
- hvert prøvestykke bør ha et minste tverrmål mellom 10 og 50 mm
- hvert prøvestykke bør ha et volum på minimum 50 cm³

Det anbefales å benytte utborede kjerner med diameter på minimum 90 mm. Sylindrene sages i planparallelle skiver med tykkelse ca. 20 mm. Sideflatene behandles med epoksy.

8.12.3 Fremgangsmåte

Prøvene tørkes i ventiltørskap ved 105 °C i 7 døgn, og avkjøles deretter 2 timer i luft ved romtemperatur hvor prøven er pakket inn i plastfolie og prøvestykket veies, g_1 . Deretter legges prøvestykket neddykket i vann i 7 døgn og veies i luft, g_2 , og i vann, g_3 . Til slutt legges prøvestykkene i vann i trykktank ved 50 atm i 2 døgn og så veies i luft, g_4 .

Betongens porøsitet beregnes som angitt nedenfor:

Prøvestykkets volum:	$V = (g_2 - g_3) / \rho_w$	[m ³]
Tørrdensitet:	$\rho_t = g_1 / V$	[kg/m ³]
Faststoffdensitet:	$\rho_{fs} = g_1 / [V - (g_4 - g_1) / \rho_w]$	[kg/m ³]
Sugemettet densitet:	$\rho_s = g_2 / V$	[kg/m ³]
Sugporøsitet:	$p_s = (g_2 - g_1) / V \cdot \rho_w$	
Makroporøsitet:	$p_m = (g_4 - g_2) / V \cdot \rho_w$	
Totalporøsitet:	$p_t = p_s + p_m$	
PF-verdi blir da:	$PF = p_m / p_t$	

der ρ_w er vannets densitet på 1000 kg/m³.

8.13 Frostprøving

8.13.1 Beskrivelse av metoden – hensikt

Frostprøving utføres for vurdering av betongens frostmotstand. Det finnes to forskjellige metoder for frostprøving for betong: Boråsmetoden og ASTM-metoden.

Boråsmetoden er den mest anerkjente og omtales derfor i denne publikasjonen. Denne metoden er beskrevet i NS-CEN/TS 12390-9 [56].

8.13.2 Krav til prøvestykkene

Prøvestykkene kan enten bestå av terninger eller borkjerner. Uttak av borkjerner er mest hensiktsmessig på eksisterende betongkonstruksjoner. Ved prøving av terninger eller utborede kjerner, skal det sammenlagte arealet som testes for frostavskalling være minimum 40 000 mm². Dette tilsvarer:

- 4 stk. terninger med sidekant 100 mm
- 6 stk. sylindre med diameter 100 mm
- 3 stk. sylindre med diameter 150 mm

Ved undersøkelsen må det angis hvilken flate som skal undersøkes, f.eks.

1. Terning, saget flate
2. Terning, overflate (ytterflate)
3. Utboret sylinder, saget flate
4. Utboret sylinder, overflate (ytterflate)

8.13.3 Fremgangsmåte ved Boråsmetoden

Betongens motstand mot overflateavskalling bestemmes ved å utsette prøvestykket for vekslende frysing og opptining med 3% NaCl-løsning eller direkte vann på overflaten. Prøvestykkene veies før de utsettes for vekslende fryse- og tinesyklus.

Prøvestykkene utsettes deretter for 56 fryse-/tinesykluser i ca. 63 døgn. Etter testing børstes eller tørkes avskallet materialet av prøvestykket for deretter og veies. Vektreduksjonen sier da noe om hvor frostbestandig betongen er. Frostnedbrytningen angis i kg/m^2 avskalling. Testing vurderes som krevende med tanke på tekniske utfordringer og tid (måneder). Kriteriet for frostbestandig betong er avskallinger mindre enn $1,0 \text{ kg/m}^2$ etter 56 fryse-/tinesykluser.

8.14 Kloriddiffusjon

8.14.1 Beskrivelse av metoden – hensikt

Metoden anvendes for å bestemme kloriddiffusjonskoeffisienten for betongen, slik at en vurderer/beregner framtidig kloridinntrengning. Metoden er beskrevet i NS-EN 13396 [57]

8.14.2 Krav til prøvestykkene

Det skal benyttes prøvestykker som ikke tidligere har blitt eksponert for klorider. Dette kan være kjerner fra eksisterende konstruksjon, men da i en dybde i konstruksjonen hvor klorider ennå ikke har trengt inn eller fra steder på konstruksjonen som ikke har vært utsatt for klorideksponering. Ferdig preparerte kjerneprøver skal ha diameter på minimum 75 mm, helst 100 mm, og med en lengde på 100 mm. Det skal minst være tre prøver fra samme betong.

8.14.3 Fremgangsmåte

Prøvestykkene påføres et kloridbremsende belegg på de vertikale sideflatene før de senkes ned i en NaCl-løsning med konsentrasjon på 165 g pr liter destillert vann. Prøvestykkene skal ligge i løsningen i minst 35 døgn og maks 40 døgn. Etter at prøvene har ligget i vannbadet freses det støv i ulike sjikt innover i betongprøven for å finne prøvestykkets kloridprofil. Resultatene sammenstilles med det opprinnelige kloridinnholdet i prøvestykket og tilpasses modellen beskrevet i NS-EN 13396 [57]. Overflatekonsentrasjon og diffusjonskoeffisienten kan deretter beregnes. Diffusjonskoeffisienten angis i m^2/s med to siffer.

Det vises for øvrig til NS-EN 12390-11 [58].

8.15 Spesifikk elektrisk motstand

8.15.1 Beskrivelse av metoden – hensikt

Metoden benyttes for å bestemme spesifikk elektrisk motstand i betongen for å vurdere korrosjonsfare på armeringen og mulighet for bruk av elektrokjemiske utbedringsmetoder.

Metoden er beskrevet som metode 443 i Statens vegvesen sin håndbok R210 [55].

8.15.2 Krav til prøvestykkene

En prøve består av to utborede kjerner av samme betong. Prøvestykkene skal ha to parallelle plane flater med tilstrekkelig stor overflate slik at man oppnår tilstrekkelig avstand mellom elektrodene. Arealet må måleflatene må være mindre eller lik arealet til elektrodeplatene. Kjernediameter bør være minst 100 mm. Prøvestykkene skal ligge i vannbad ved 20°C i minimum 3 døgn før testing. Prøvestykkene bør ikke inneholde armering.

8.15.3 Fremgangsmåte

Elektrodeplatene monteres på hver side av prøvestykket. Mellom elektrodeplatene og betongoverflaten monteres et filtstykke som fuktes. Dette gjøres for å få god elektrisk kontakt mellom elektroden og betongoverflaten. Et lodd plasseres oppå elektrodeplatene for å presse elektrodeplaten godt mot filt og betong. Dette for å sikre god elektrisk kontakt. Prøvestykkene lagres i vannbad for testing.

Den elektrisk motstanden måles med elektroder montert på prøvens overflater. Elektrisk motstand av betong måles ved å bruke et LCR-meter med høy inngangsimpedans og målefrekvens 1 kHz eller 40 Hz. LCR er et elektronisk testutstyr for måling av induktans, kapasitans og motstand. Forholdet mellom påtrykt strøm og resulterende spenning gir den elektriske motstanden. Den spesifikke elektriske motstanden kan beregnes basert på geometrien til elektrodene og prøvestykket. Motstanden i kretsen kontrolleres både før og etter prøving.

Motstandsverdien avleses etter 60 sekunder etter at LCR-meteret er slått på. Elektrisk motstand angis i Ω og er avhengig av prøvestykkets geometri. Den spesifikke elektriske motstanden angis derfor i $\Omega \cdot m$.

Spesifikk elektrisk motstand, ρ , bestemmes ut ifra følgende formel:

$$\rho = R \cdot A/l$$

hvor

R = målt elektrisk motstand i Ω med LCR-måleren

A = prøvestykkets areal i m^2

l = avstanden mellom prøvestykkets måleflater

8.16 Diffusjonsåpenhet

8.16.1 Beskrivelse av metoden – hensikt

Dette er en undersøkelse som sjelden utføres i forbindelse med tilstandskontroller, men kan benyttes ved overflatebehandling for å undersøke hvor diffusjonsåpen betongen er i forhold til valgt overflatebehandling.

Prøvemethoden er beskrevet i NS-EN ISO 12572:2016 [59]. Standarden beskriver vanndampdiffusjon for testing av alle typer bygningsmaterialer. Ved undersøkelse av vanndampdiffusjon av betong benyttes vanligvis koppmetoden.

8.16.2 Krav til prøvestykkene

Prøvestykkene skal være representative for betongen, minimum 20 mm tykke og med en testflate større enn $0,005 m^2$. En prøveserie skal bestå av 3 prøvestykker.

Prøvestykkene skal oppbevares før testing ved $23 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ og 50 % RF, inntil vekten til prøvestykket ikke endrer seg mer enn 5 % over en tidsperiode på 6 timer.

8.16.3 Fremgangsmåte

Prøvestykket monteres gasstett som et lokk på en «kopp»/prøveglass fylt med en mettet saltløsning (i bunnen) som gir en konstant RF i koppen. Det testes vanligvis med forskjellige saltløsninger for å variere RF i koppen. Koppene settes i et klimaskap med konstant temperatur og RF. På grunn av forskjellen i relativ fuktighet, vil det etter hvert innstille seg en jevn vanndamptransport fra koppen og gjennom betongskiven og ut i klimarommet. Det er derfor viktig å ha kontroll på hvilken RF man har i koppen og hvilken RF det er i klimarommet. Ved jevnlig veiing av koppen kan den effektive

diffusjonskoeffisienten beregnes. Vanndampdiffusjonens motstandsfaktor er dimensjonsløs og viser den relative damppermeabiliteten sammenlignet med luft.

8.17 Mikro-røntgenfluorescens (μ XRF)

8.17.1 Beskrivelse av metoden – hensikt

Ved hjelp av μ XRF-metoden kan man analysere fordeling av ulike stoffer som er i betongen eller som har trengt inn i betongen gjennom sprekker eller porer.

μ XRF er en avansert laboratoriemetode og kan benyttes til følgende:

- Påvise kloridinntrengning i et snitt
- Påvise av sulfatangrep
- Påvise kjemisk sammensetning av sementpastaen
- Påvise alkalireaksjoner
- Vurdere utlutning av ulike stoffer

8.17.2 Krav til prøvestykkene

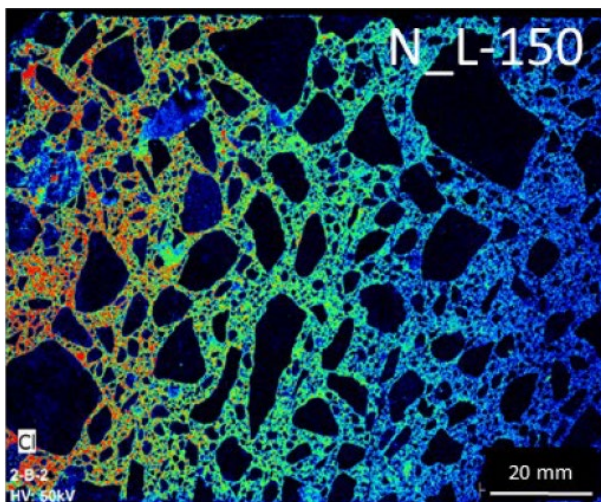
Analysen utføres på borkjerner eller andre type prøveformat. Prøvestørrelse kan være opp til 150 mm bredde og 180 mm lengde. Vekt av prøven må være maks. 5 kg og høyden bør ikke være mer enn 60-70 mm. Det kan også benyttes mindre prøvestykker (ned til 10 x 10 mm), men overflaten som kartlegges må være så jevn og flat som mulig (sagflate er ofte god nok). Betongprøven må tas på et sted på konstruksjonen som er representativ i forhold til det en ønsker undersøkt/kartlagt.

8.17.3 Fremgangsmåte

Undersøkelsene gjøres for eksempel på utborede kjerner som sages på langs. Hvis prøven splittes på langs, må snittflaten slipes. Det er snittflaten som analyseres i maskinen.

Prøver settes i μ XRF-maskinen og materialet utsettes for røntgenstråling. Dette fører til at grunnstoffene sender ut en fluorescensstråling som er karakteristisk for hver enkel bestanddel. Strålingen som sendes ut fra prøven analyseres for å bestemme elementkomposisjonen i betongen. En μ -XRF kan kartlegge ulike stoffer i betongoverflaten ved å følge endringene i romlig fordeling av grunnstoffer i betongen, f.eks. inntrengning av stoffer langs sprekker eller vandring av ioner. Testen kan ta alt fra minutter til noen timer avhengig av arealet som kartlegges og kvaliteten på bildene.

Alle stoffer som er tyngre enn natrium kan påvises ved metoden. For å kvantifisere mengder av de ulike stoffene må det benyttes referanseprøver, ellers er μ XRF en kvalitativ analyse.



Figur 8.14 Kloridprofil av betong eksponert til sjøvann. Overflate eksponert til vann til venstre (Foto: Danner, T., NTNU)

8.18 Kontroll av armeringsstål

8.18.1 Beskrivelse av metoden – hensikt

Ved tilstandsvurderinger er det spesielt to ting som kan være aktuelt å få undersøkt ved armeringen; armeringens strekkfasthet og sveisbarhet. I tilfeller der en skal kontrollere bæreevnen til en konstruksjon, og det ikke foreligger tilstrekkelig dokumentasjon av armeringskvalitet, kan måling av armeringens strekkfasthet være aktuelt. Ved forsterkning eller ombygging av en konstruksjon kan det være ønskelig å sveise ny armering til eksisterende armering. I slike tilfeller må det kontrolleres om armeringen er sveisbar.

8.18.2 Krav til prøvestykkene

For strekkprøving må lengden til armeringen mellom gripesonene til strekkmaskinen være minimum 140 mm eller 14 x diameteren. Hvis gripesonene er 25 mm og armeringsjernet som testes har en diameter på 12 mm, skal total lengde på armeringen være $(14 \times 12 + 2 \times 25) \text{ mm} = 218 \text{ mm}$.

For sprøhet er det ikke noe spesifikt krav til lengde, men lengden må tilpasses den aktuelle testmaskinen.

For analyse av sveisbarhet klarer det seg med et lite stykke av armeringsjernet, f.eks. en lengde på 50 mm.

8.18.3 Fremgangsmåte

Strekkfastheten

Strekkfastheten måles ved å utsette armeringsstålet for et enaksialt strekk inntil brudd. Strekkfastheten blir da bruddlasten, N , dividert på tverrsnittsarealet, A_s , til armeringen, $f_s = N/A_s$. Strekkfastheten testes etter NS-EN 15630-1 [60].

Sveisbarheten

For å sjekke sveisbarheten analyseres stålets sammensetning. Ut fra analysene av stålets sammensetning beregnes det en karbonekvivalent (CEV), der andelen av karbon, mangan, krom, vanadium, molybden, kobber og nikkel inngår i beregningen. Jo lavere karbonekvivalent en har, desto mer sveisbart er stålet. Krav til sveisbarhet er angitt i tabell 2 i kap. 7.1.3 NS-EN 10080 [61].

8.19 Overflatebehandling

8.19.1 Beskrivelse av metoden – hensikt

I forbindelse med en tilstandskontroll kan det være av betydning å få undersøkt hvilken type overflatebehandling som er påført den eksisterende betongkonstruksjonen, for å avklare om eksisterende overflatebehandling kan rebehandles og er kompatibel med annen type maling eller om eksisterende overflatebehandling må fjernes før påføring av ny overflatebehandling. Dersom eksisterende overflatebehandling må fjernes, vil bestemmelse av type overflatebehandling også være av betydning med hensyn til valg av metode for fjerning av eksisterende overflatebehandling.

Eksisterende overflatebehandling på betongen må ved rehabilitering også undersøkes med hensyn til om den inneholder eventuelle miljøgifter. Metoden for å kartlegge miljøgifter er ikke beskrevet i dette kapitlet. Materialprøve må sendes til spesiallaboratorium for analyse mht. bl.a. kobber, bly, krom, etc.

8.19.2 Krav til prøveuttaket

I utgangspunktet prøver en først å få tatt prøver (ca. 50 x 50 mm²) bare av malingssjiktet med skalpell eller metallskrape. Dersom dette ikke lar seg gjøre, kan en skjære ut et mindre stykke i betongen i en dybde på 20 mm og deretter meisle ut betongstykket med overflatebehandling. Det må tas prøver fra forskjellige steder på betongkonstruksjonen for å kontrollere om det er samme overflatebehandling som er benyttet på hele konstruksjonen.

8.19.3 Fremgangsmåte

Det finnes enkle analysemetoder for å undersøke om malingen er basert på organiske eller uorganiske bindemidler. Følgende tester kan benyttes:

Saltsyretest

Dersom det oppstår brusing og koking når en drypper 10% saltsyre på et prøvestykke av malingsfilmen, inneholder malingen kalk eller sement.

Metylenkloridtest

Ved å dryppe metylenklorid på et prøvestykke av malingen vil lateks- og pliolitemalinger gå i oppløsning, mens olje- og alkydmalinger vil svelle.

Natronluttest

Ved å dryppe natronlut (kaustisk soda) på et prøvestykke av malingen, vil olje- og alkydmalinger gå i oppløsning

Vanntest

Dersom malingen legges i vann og mykner og blir elastisk, er malingen organisk. Sugers vannet lett opp er det en kalk-, sement- eller silikatmaling.

Flammetest

Dersom det begynner å brenne eller oppstår røyk når en forsøker å tenne på med flamme på et prøvestykke av malingsprøven, er det en organisk maling.

Sprittest

Dersom malingen går i oppløsningen når den dyppes ren teknisk sprit på et prøvestykke av malingen, er det en lateksmaling.

Xylentest

Dersom malingen går i oppløsning når den dyppes i xylen, er det en pliолitemaling.

Det presiseres at overnevnte metoder kun gir en indikasjon på materialtype. Prøvemethodene er også beskrevet i anvisning 742.245 fra Byggforsk [62].

Høringsutkast juni 2022

9. Vurdering av skadeårsak, konsekvens og risiko

9.1 Vurdering av skadeårsak og skadeutvikling

Kjennskap til skadeårsak og sannsynlig videreutvikling av skadene, er grunnleggende for å kunne foreslå og iverksette riktige tiltak for beskyttelse og reparasjon. Uten kjennskap til skadeårsak er det umulig å vurdere både konsekvens og risiko.

Ved å sammenholde visuelle observasjoner med resultater fra feltundersøkelser og laboratorieundersøkelser, vil en kunne fastslå skadeårsaken. Tabell 9.1 viser sammenhengen mellom skade/skadesymptom og mulig skadeårsak. Resultatet av felt- og laboratorieundersøkelser vil være bestemmende for om skaden/skadesymptomet skyldes den ene eller andre skadeårsaken. Nevnte tabell kan derfor brukes som et hjelpemiddel for å vurdere mulige skadeårsaker, men kan også benyttes som et hjelpemiddel for å velge undersøkelsesmetoder for gitte skadetyper/skadesymptom.

I tabell 9.1 vises en oversikt over symptomer og mulige årsaker

ÅRSAK	Uttøkingssvinn	Armeringskorrosjon	Frostsprenning	Alkalireaksjon	Utluting	Sulfatangrep	Syreangrep	Saltangrep	Temperaturbelastning	Plastisk svinn	Plastisk setning	Temp. i herdende bet.	Frysing i fersk bet.	Utstøpingsfeil	Overbelastning./underdimensjon	Mekanisk skade
SYMPTOM																
Ris/sprekk langs armering		X									X					
Tilfeldig avskalling		X	X	X				X	X							X
Avskalling langs jern		X														
Delaminering/bom		X	X					X	X							
Mørke og fuktige riss				X	X											
Tversgående riss/sprekk												X			X	
Diagonalt riss/sprekk												X			X	
Tilfeldig riss/sprekk	X		X						X	X		X	X		X	
Oppsmuldring/forvitring			X			X	X	X	X				X			
Krakelering	X		X	X		X		X	X	X						
Riss med utfelling		X		X	X											
Kalkutslag					X											
Rustutfelling		X														
Utfelling som gelemasse				X												
Steinreir														X		
Nedbøyning/deformasjon														X	X	
Forskyvninger/setninger														X	X	
Kantreiseing	X														X	
Knusing															X	

Med bakgrunn i den registrerte tilstanden, vurderes konstruksjonens/konstruksjonsdelenes resterende brukstid. Tilgang til resultater fra systematisk overvåking eller tidligere tilstandsundersøkelser, kan lette vurdering av skadeutvikling.

I forbindelse med tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner vil referansenivået for vurdering av tilstanden av konstruksjonen normalt være tilstanden til konstruksjonen ved bygging. Endring av

tilstanden i forhold til dette referansenivået defineres i NS 3424 [3] som avvik. Iht. nevnte standard skal årsak til avviket alltid vurderes og angis for tilstandsgrad 2 og 3, men i praksis vil en også gjøre dette for tilstandsgrad 1 i den grad det er mulig.

Vurderingsfasen ved gjennomføring av tilstandsanalyse omfatter derfor vurdering av avvik, måleresultat og skadeårsak, for å kunne vurdere tilstandens konsekvenser, risiko, leve-/brukstid og aktuelle utbedringstiltak eller -strategier med tilhørende kostnader.

Konsekvenser for bæreevnen må alltid vurderes. Kontroll av bæreevnen kan derfor være aktuelt i denne fasen. Konsekvens av tilstanden defineres ved hjelp av konsekvensgraden, se kap. 9.2.

9.2 Vurdering av skadekonsekvens

Vurdering av konsekvenser for den registrerte tilstanden er avgjørende for å kunne vurdere behovet for og type tiltak for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjonen. Tilstandens konsekvenser beskrives ved å angi en konsekvensgrad (KG). Konsekvensgraden er et uttrykk for hvilke konsekvenser tilstanden har dersom tiltak ikke iverksettes innen et definert tidsrom.

Eksempler på aktuelle konsekvensområder:

- sikkerhet (brann, trafikk, bæreevne, personskade, fare for nedfall av betongstykker)
- kostnader (investeringskostnader, driftskostnader ved produksjonsstans, stenging av hele eller deler av konstruksjonen, vedlikeholdskostnader etc.).
- helse og miljø (støy, støv, forurensing)
- estetikk (farge, overflatestruktur)
- tap av kulturminner
- brudd på lover og forskrifter

Det må i hvert enkelt tilfelle defineres hvilke konsekvensområder som er lagt til grunn for konsekvensvurderingen og bestemmelse av konsekvensgrad.

Iht. NS 3424 [3] defineres fire klasser for konsekvensgrad:

- KG 0: Ingen konsekvenser
- KG 1: Små og middels konsekvenser
- KG 2: Vesentlige konsekvenser
- KG 3: Store og alvorlige konsekvenser

Konsekvensgraden kan, i likhet med tilstandsgraden, fastsettes for enkeltstående skader/symptomer eller samlet for alle skader/symptomer (for hele konstruksjonen). Referansenivået for konsekvensgraden kan fastsettes for ett, samlet for flere eller alle konsekvensområdene. I de tilfellene en ønsker å fastsette konsekvensen for hvert konsekvensområde, kan det være hensiktsmessig å bruke en bokstavkode foran tallkoden for å angi konsekvensområde, f.eks. B for bæreevnen, T for trafikk-sikkerhet, osv. Eksempelvis: Store konsekvenser for trafikk-sikkerheten angis da ved konsekvensgraden T3 og små konsekvenser for bæreevnen angis ved konsekvensgraden B1.

Tallgradering, eventuelt supplert med bokstavkode, er nyttig i felt ved vurdering av enkeltskader/-symptom, og der en skal håndtere og bearbeide store datamengder. I rapporten anbefales å beskrive tilstandens konsekvenser fortrinnsvis ved hjelp av klassifiseringsbegrepene. Eksempelvis: Konstruksjonens skader har store konsekvenser for vedlikeholdskostnadene, men små konsekvenser for sikkerheten.

9.3 Vurdering av forventet gjenværende brukstid

9.3.1 Generelt

Forventet gjenværende brukstid er et uttrykk for den tiden konstruksjonen eller konstruksjonsdelen fortsatt vil oppfylle sin funksjon.

Vurdering av resterende brukstid for et bygg, en konstruksjon eller konstruksjonsdel, er en øvelse som baserer seg på sannsynlighet for skadeutvikling. Det er svært vanskelig å beregne den eksakte levetiden for ulike nedbrytningsmekanismer. Det finnes modeller for å beregne sannsynlig tid (initieringsfasen) frem til initiering av armeringskorrosjon, men for selve korrosjonsprosessen har en ingen gode modeller for så langt. Andre nedbrytningsmekanismer mangler også gode modeller.

Erfaringsdata fra systematisk overvåking av betongkonstruksjoner over lengre tid, vil kunne gi svært mye nyttig informasjon for å vurdere utviklingstrenden for skadene og dermed grunnlag for å vurdere gjenværende brukstid. Dess mer informasjon som foreligger, dess mer spesifikk er det mulig å være.

9.3.2 Karbonatisering

Karbonatisering i betong følger Ficks første lov som sier at diffusjonsstrømmen J er proporsjonal med konsentrasjonsgradienten for det aktuelle stoffet, der D er diffusjonskoeffisienten uttrykt med formelen :

$$J = -D(dc/dx)$$

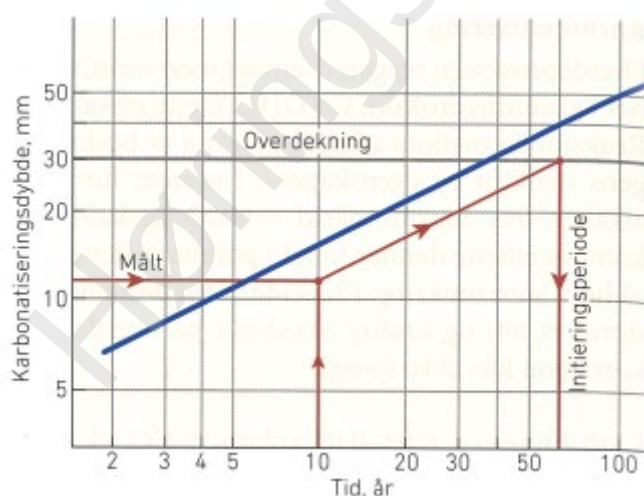
Ut fra overnevnte fås den kjente formelen for karbonatiseringsdybden (x) som kan benyttes til å beregne sannsynlig initieringstid $x = k \sqrt{t}$. Den ferske betongen vil få en momentan karbonatisering (initiell karbonatisering). Ved å ta hensyn til momentan karbonatisering, kan karbonatiseringsprosessen uttrykkes ved følgende formel:

$$x = x_i + k \sqrt{t}, \quad \text{der} \quad x = \text{karbonatiseringsdybden ved år } t$$

x_i = initiell karbonatisering som ligger i området 1-2 mm

t = betongens alder for tidspunktet en måler d_t

k = materialkonstant



Figur 9.1 Karbonatiseringsforløpet som funksjon av tiden [63]

Formelen ovenfor kan benyttes til å beregne initieringstiden ved karbonatiering. Dette gjøres ved å måle karbonatiseringsdybden og armeringens overdekning på betongkonstruksjonen.

Karbonatiseringsdybden på et gitt tidspunkt t må beregnes som gjennomsnittet av en serie med målinger både for karbonatiseringsdybden og armeringens overdekning. Når en vet gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde, initielle karbonatisering og betongens alder kan en beregne materialkonstanten k utfra formelen angitt ovenfor – $k = (x_t - x_i)/\sqrt{t}$. Ved å bruke beregnet materialkonstant kan en så beregne hvor lang tid t_o det tar før karbonatiseringsfronten når armeringen. Gjenværende brukstid t_g , dvs. tidspunktet for når armeringen vil begynne å korrodere, vil da være differansen mellom t_o og t . Dette kan uttrykkes som følger med bakgrunn i formelen ovenfor:

$$t_g = t_o - t = ((o - x_i)/k)^2 - t \text{ der } o \text{ er armeringens overdekning}$$

Ved å sette inn formelen for materialkonstanten k i formelen ovenfor, får vi følgende formel for gjenværende brukstid:

$$t_g = t_o - t = ((o - x_i)^2 / (x_t - x_i)^2) \cdot t - t$$

Eksempel: Armeringens overdekning er 20 mm, initiell karbonatiseringsdybde 1 mm og karbonatiseringsdybden etter 16 år er 15 mm. Sannsynlig gjenværende initieringstid (brukstid) blir da:

$$t_g = ((20-1)^2 / (15-1)^2) 16 - 16 = 13,5 \text{ år}$$

9.3.3 Kloridinntrengning

Kloridinntrengning i betong følger Ficks andre lov om diffusjon som viser sammenhengen mellom konsentrasjonen av det aktuelle stoffet og tida diffusjonen har pågått. Med bakgrunn i Ficks andre lov og antagelsen om at kloridinntrengningen i betong er en stasjonær prosess, kan følgende formel utledes for kloridkonsentrasjonen i et gitt sjikt og ved en gitt alder (eksponeringstid) som følger:

$$C(x,t) = C_s - (C_s - C_i) \cdot \text{erf}(x/2\sqrt{D \cdot t}), [61] \text{ der}$$

t = tid fra første klorideksponering

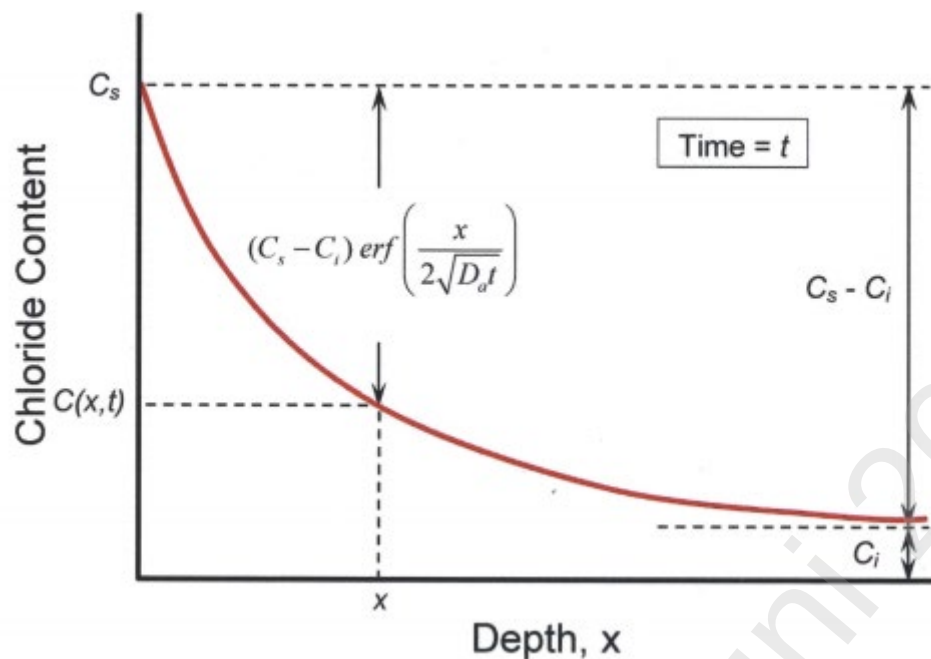
x = avstand fra klorideksponert overflate

C_s = kloridkonsentrasjon på betongoverflaten

C_i = initiell kloridkonsentrasjon

D = diffusjonskoeffisient

erf = errorfunksjonen



Figur 9.2 Diffusjon av klorider innover i betongen [65]

Overnevnte formel kan derfor benyttes til å beregne initieringstiden ved kloridinntrengning for en gitt konstruksjon. Initiering av armeringskorrosjon oppstår når kloridinnholdet i armeringssjiktet (x er da lik overdekningen o) $C(o, t)$ er større eller lik kritisk kloridkonsentrasjon, som teoretisk vil være 0,4 % kloridioner av sementvekt.

Overnevnte formel gir mulighet for å beregne kloridinnholdet i et gitt sjikt ut fra fem parametre – x , C_s , C_i , D og t . Ved å måle kloridinnholdet i ulike sjikt innover i betongen vil en enkelt kunne bestemme den initielle kloridkonsentrasjonen (C_i) i betongen. Med bakgrunn i kloridinnholdet i ulike sjikt kan en tegne opp kloridprofilen innover i betongen. Typisk målt kloridprofil vil normalt vise et noe lavere kloridinnholdet i overflatesjiktet enn innover i betongen slik som vist på fig.7.8. Dette skyldes utvasking av klorider i oversjiktet. Resultatet av dette er at målt kloridinnhold i overflaten ikke kan betraktes som C_s i overnevnte formel. Ved å lage/beregne en tilpasset kurve som passer med det målte profilet, vil en få en overflatekonsentrasjon som overstiger den målte konsentrasjonen. Det er den beregnede verdien som harmoniserer med forutsetningene for overnevnte formel.

Med bakgrunn i målt kloridprofil kan både kloridkonsentrasjonen i overflaten C_s og diffusjonskoeffisienten (D) beregnes ved hjelp av regresjonsanalyse. Regresjonsanalyse er innen statistikk en kvantitativ analyse av sammenhenger mellom en avhengig variabel og en eller flere uavhengige variabler. Dette kan gjøres f.eks. ved bruk regnearket Excel.

Når en har målt overdekningen (x) og intiell kloridkonsentrasjon (C_i) og beregnet kloridinnholdet i overflaten (C_s) og diffusjonskoeffisienten (D), kan overnevnte formel benyttes til å beregne tidspunktet for når en oppnår kloridinnhold i armeringssjiktet. Gjenværende brukstid (t_g) vil være tiden (t_k) det tar før kloridinnholdet i armeringssjiktet blir høyt nok til å initiere armeringskorrosjonkorrosjon med fradrag for tiden ved måletidspunktet, dvs.

$$t_g = t_k - t$$

Overnevnte betraktning forutsetter at både C_s og D ikke endrer seg med tiden. Erfaringer viser at nevnte faktorer går mot konstant verdi etter 20 års eksponering [64], en forutsetning som normalt er tilstede ved tilstandsanalyser av eksisterende betongkonstruksjoner der gjenværende brukstid skal vurderes.

9.4 Vurdering av bæreevne/konstruksjonssikkerhet

Den ytterste konsekvens av en skade, vil være sammenbrudd, dvs. at konstruksjonen kollapser helt eller delvis. Ved omfattende skader som har forårsaket betydelig tverrsnittsreduksjon på armering og /eller betong, må bæreevnen vurderes spesielt.

ISO 13822 [66] gir generelle krav og prosedyrer for vurdering av eksisterende konstruksjoner basert på prinsipper om strukturell pålitelighet og konsekvenser av svikt.

Kontrollberegning

Ved kontrollberegning av en konstruksjon er kjennskap til tidligere standarder, materialkvaliteter og byggemetoder nødvendig. For eldre konstruksjoner vil en slik kunnskap kunne redusere behovet for prøvetaking og kontrollmålinger på stedet som grunnlag for nødvendige beregninger. Dersom det foreligger tegninger, vil oppmåling av geometri være nødvendig for å kontrollere om det er avvik i forhold til det som fremkommer av eksisterende tegninger.

Der det foreligger begrenset med dokumentasjon i form av tegninger og beregninger, må det utføres utvidete og/eller tilleggsundersøkelser for å få tilstrekkelig beregningsunderlag. Dette kan typisk være armeringskontroll (mengde, plassering, dimensjoner), oppmåling av geometri, kontroll av armeringskvalitet samt trykkfasthetsmålinger.

Kontroll av opprinnelig bæreevne bør baseres på de standarder som var gjeldende på det tidspunktet konstruksjonen ble prosjektert og bygd. Dersom vurdering av bæreevnen utføres iht. någjeldende standarder, risikerer en at vurderingen vil medføre tiltak som strengt tatt blir unødvendig konservative.

Prøvebelastning

Prøvebelastning kan utføres ved mistanke om at en konstruksjonsdel har nedsatt bæreevne og der det er vanskelig å dokumentere bæreevnen ved beregninger pga. manglende dokumentasjon om den eksisterende konstruksjonen. Ved gjennomføringen av prøvebelastning plasseres gradvis økende last på konstruksjonen under nøye overvåking og registrering av deformasjon (nedbøyning, tøyning, rissutvikling). Ut fra målingene kan virkelig bæreevne anslås. Undersøkelsen må utføres under nøye kontroll og oppfølging av personell med nødvendig kompetanse og erfaring.

9.5 Vurdering av risiko

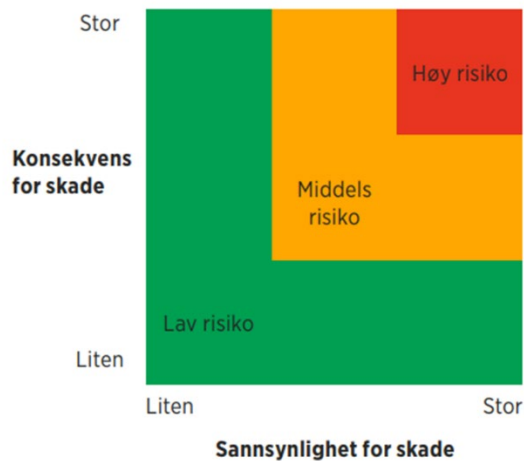
Risikovurdering er en vurdering av hvor sannsynlig det er at en konsekvens vil kunne inntreffe. Konsekvensen av å ikke reparere en skade kan f.eks. være sammenbrudd, men risikoen forbundet med skaden kan være begrenset da skaden utvikler seg langsomt og sannsynligheten for at det vil skje innenfor et gitt tidsintervall er liten.

En vurdering av risiko innebærer en vurdering av hva som kan skje gitt ulike scenarier, så som tidsintervall, bruksendring, lastendring, miljøendring, etc. Scenariet som alltid må vurderes er hva om det ikke iverksettes tiltak innenfor en gitt tidsramme.

Omfanget av risikoanalysen avhenger av formålet med tilstandsanalysen. Sannsynlighet og konsekvens vurderes ut fra registrert tilstand. Deretter beskrives (kvalitativt) eller beregnes (kvantitativt) risiko. NS 5814 [67] gir mer informasjon om risikovurderinger, risikoanalyser og

metoder. Risikovurderingen legges til grunn for valg av tiltak for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjonen.

En enkel kvalitativ angivelse av risiko kan iht. NS 3424 [3] beskrives som lav risiko, middels risiko og høy risiko slik som vist på fig 9.3. Det skal spesifiseres hvilke konsekvenser som er lagt til grunn ved vurdering av risiko.



Figur 9.3 Risikovurdering [31]

10. Vurdering av forvaltningsstrategi

10.1 Forvaltningsstrategier

Når det med bakgrunn i utførte registreringer, målinger og undersøkelser er foretatt en vurdering av betongkonstruksjonens tilstand og tilstandens konsekvenser, skal det som en del tilstandsanalysen foretas en vurdering av aktuelle og nødvendige utbedringstiltak. På overordnet nivå kan det velges mellom ulike strategier for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjonen for at konstruksjonen skal kunne oppfylle sin funksjon innenfor konstruksjonens brukstid. Vurdering av forvaltningsstrategi utføres normalt bare på analysenivå 2 og 3. Å opprettholde eller gjenopprette sikkerheten vil alltid være et vesentlig krav i en forvaltningsstrategi.

Iht. NS-EN 1504-9 [1] skal følgende forvaltningsstrategier tas i betraktning ved vurdering av tiltak for å oppfylle framtidig funksjonsbehov innenfor konstruksjonens brukstid:

1. Ingen tiltak – kun overvåking i en bestemt tidsperiode (Dette vil kreve at det utarbeides et overvåkingsprogram med tilhørende krav til rapportering)
2. Nedklassifisering – lastreduksjon (Dette vil være et alternativ, dersom kontrollberegninger avdekker redusert bæreevne som følge av konstruksjonens tilstand)
3. Tiltak for å forhindre og redusere ytterligere nedbrytning (Her må en være oppmerksom på at aktuelle tiltak kan kreve større eller mindre grad av fremtidig vedlikehold for å opprettholde konstruksjonens brukstid)
4. Forsterking eller reparering og beskyttelse av hele eller deler av betongkonstruksjonen (Aktuelle tiltak kan kreve større eller mindre grad av fremtidig vedlikehold for å opprettholde konstruksjonens brukstid)
5. Gjenoppbygging eller utskifting av hele eller deler av betongkonstruksjonen (Aktuell strategi enten pga. stort skadeomfang, redusert bæreevne eller uforholdsmessige store reparasjonskostnader)
6. Riving av hele eller deler av betongkonstruksjonen (Aktuell strategi enten pga. betydelig redusert bæreevne eller uforholdsmessige store reparasjonskostnader)

Dimensjonerende brukstid for den reparerte betongkonstruksjonen er vesentlig ved prosjektering av beskyttelses- og reparasjonsarbeider. Det er viktig å være klar over at noen strategier vil kunne opprette konstruksjonens brukstid i en operasjon, mens andre krever gjentatt vedlikehold eller ny reparasjon for å opprettholde konstruksjonens brukstid. Dette er også et forhold som må vektlegges ved vurdering og valg av strategi.

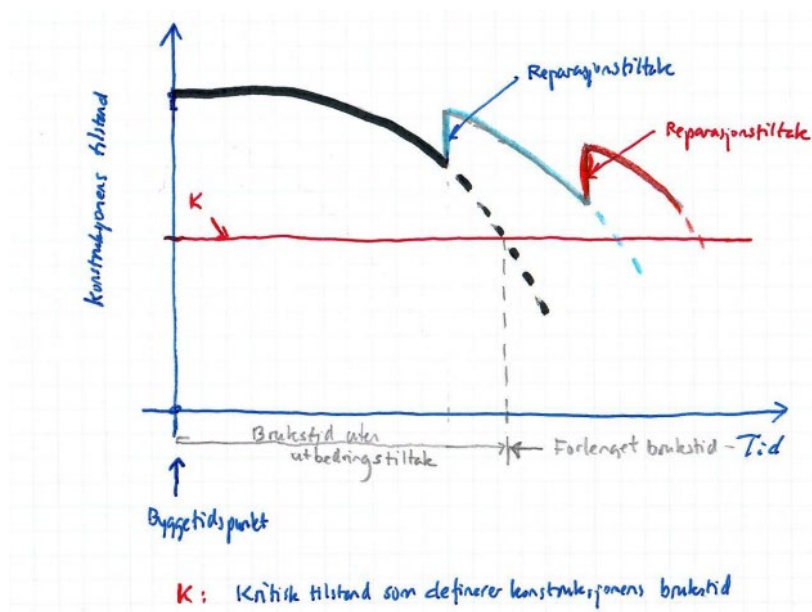


Fig.10.1 Forlenget bruketid som følger av gjennomførte reparasjonstiltak

10.2 Faktorer som påvirker valg av strategi

En forvaltningsstrategi velges ikke bare utelukkende på teknisk grunnlag, men også på grunnlag av bl.a. økonomiske, funksjonelle, bruksmessige, miljømessige og estetiske forhold og eventuelt andre faktorer som krav fra eier av konstruksjonen.

Når det gjelder vurdering av kostnader for de ulike forvaltningsstrategiene og tilhørende konsekvenser, må alle kostnadskonsekvenser ved strategiene undersøkes og vurderes, som f.eks. utførelseskostnader, vedlikeholdskostnader, omkringliggende driftsmessige kostnader, behov for bruksmessige begrensninger, brukerkostnader, etc.

Iht. NS-EN 1504-9 [1] skal følgende faktorer vurderes ved valg av forvaltningsstrategi:

a) Grunnleggende faktorer

- tiltenkt bruk og gjenværende bruketid for konstruksjonen
- krav til konstruksjonens funksjonsegenskaper (f.eks. bæreevne, brannmotstand, vanntetthet, etc.)
- sannsynlig bruketid for beskyttelses- og reparasjonstiltakene
- krav til konstruksjonens tilgjengelighet
- krav til driftsstans
- muligheter for ytterligere beskyttelses-, reparasjons- og overvåkingstiltak
- antall reparasjonssykluser og kostnader som kan aksepteres i løpet av konstruksjonens bruketid
- total livsløpskostnader for mulige forvaltningsstrategier omfattende framtidige inspeksjoner, vedlikehold og reparasjonssykluser
- egenskaper ved og mulige metoder for forbehandling av eksisterende underlag
- konstruksjonens utsende etter utførte beskyttelses- eller reparasjonstiltak

b) Konstruksjonsmessige faktorer

- nødvendige tiltak under og etter gjennomføring av reparasjonsarbeidene for å opprettholde konstruksjonens bæreevne

- tiltak for å ivareta lastene

c) Helse og sikkerhet

- konstruksjonsmessige konsekvenser som følge av nedbrytningen
- konsekvenser av konstruksjonssvikt – sammenbrudd
- krav til helse og sikkerhet som følge av lover, forskrifter og retningslinjer
- følger for beboere eller brukere av konstruksjonen
- følger for personell, beboere, bruker og tredjeperson mht. bruk av ulike materialer (lukt, gasser, etc.) og utstyr (støy, støv, vibrasjoner, vannsøl, etc.)
- sikringsbehov (fare for nedfall av løse betongbiter)

d) Miljøfaktorer

- endring av konstruksjonen eksponeringsmiljø
- behov for beskyttelse av konstruksjonen mot værpåkjønning, forurensing, osv. under reparasjonsarbeidet
- fare for forurensing pga. beskyttelses- og reparasjonsarbeidene

Å opprettholde eller gjenopprette sikkerhet vil være helt vesentlig ved valg av strategi. Dette kan oppnås ved flere av strategiene. De ulike strategiene vurderes med hensyn til hvilken effekt de har på konstruksjonens gjenværende brukstid (levetid). Det bør i den sammenheng foretas vurdering av livsløpskostnader for de aktuelle strategiene.

Når det gjelder forvaltningsstrategi 3 og 4 kan det velges ulike prinsipper og metoder for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjonen. Dette er nærmere omtalt i kapittel 11.

11. Vurdering av utbedringstiltak

11.1 Behov for tiltak

Behov for tiltak vil være avhengig av tilstanden til konstruksjonen. Forenklet kan en si følgende:

- TG 0: Ingen tiltak
- TG 1: Oppfølging eller preventivt vedlikehold
- TG 2: Reparasjonstiltak eller mer omfattende vedlikehold
- TG 3: Omfattende utbedringstiltak samt strakstiltak
- TGIU: Ikke undersøkt

11.2 Prinsipp og metoder for beskyttelse og reparasjon

Med bakgrunn i valgt forvaltningsstrategi, vurderes ulike tiltak for å oppfylle funksjonskravet for betongkonstruksjonen innenfor konstruksjonens brukstid. Med tiltak menes ikke bare beskyttelses- og reparasjonstiltak, men tiltak kan også være ytterligere undersøkelser og installering av overvåkingsprogram. For tilstandsgrad TGIU skal det vurderes om det skal iverksettes ytterligere tiltak for å få undersøkt og kartlagt tilstanden til den del av konstruksjonen som ikke er undersøkt. Dette kan kreve spesiell tilrigging som montering av stillaser, fjerning av kledning, etc.

For forvaltningsstrategier der det enten skal utføres tiltak for å forhindre og redusere ytterligere nedbrytning (forvaltningsstrategi 3 i kap.10.1) eller for å forsterke, reparere eller beskytte hele eller deler av konstruksjonen (forvaltningsstrategi 4 i kap.10.1), kan det velges ett eller flere prinsipper med tilhørende metoder for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjonen. NS-EN 1504-9 definerer prinsipper og metoder for beskyttelse og reparasjon avhengig av skadeårsak. Prinsippene for beskyttelse og reparasjon av betong er basert på kjemiske, elektrokjemiske eller fysiske prinsipper som kan brukes for å forebygge eller stanse nedbrytning av betongen og pågående armeringskorrosjon eller for å forsterke betongkonstruksjonen.

NS-EN 1504-9 [1] definerer seks prinsipper som kan benyttes ved reparasjon av skader i og på betongen forårsaket av mekanisk, kjemisk, biologisk og fysisk nedbrytning, skader forårsaket av rustsprengning og brannskader. Standarden beskriver fem prinsipper som kan benyttes ved reparasjon ved armeringskorrosjon forårsaket av fysisk tap av overdekning, kjemisk tap av alkalitet som følge av karbonatisering, forurensing av betongen med korrosjonsfremmende stoffer (vanligvis klorider) og lekkstrøm som er ledet av eller indusert i armeringen fra tilstøtende elektriske installasjoner.

For de ulike prinsippene beskriver NS-EN 1504-9 [1] ulike beskyttelses- og reparasjonsmetoder som kan benyttes for å oppnå ønsket resultat. De ulike prinsippene og metodene er som følger:

Prinsipp 1 – Beskyttelse mot inntrenging

- Metode 1.1: Hydrofoberende impregnering
- Metode 1.2: Impregnering
- Metode 1.3: Belegg
- Metode 1.4: Forsegling av riss
- Metode 1.5: Gjenfylling av riss
- Metode 1.6: Etablering av fuger i riss
- Metode 1.7: Innkledning (inkluderer også etterisolering)
- Metode 1.8: Membraner



Figur 11.1 Overflatebehandling av betongdekke. (Foto: Norconsult AS)

Prinsipp 2 – Regulering av fuktforhold

- Metode 2.1: Hydrofoberende impregnering
- Metode 2.2: Impregnering
- Metode 2.3: Belegg
- Metode 2.4: Innkledning (inkluderer også etterisolering)
- Metode 2.5: Elektrokjemisk behandling

Prinsipp 3 – Gjenoppbygging av betong

- Metode 3.1: Håndmørtling
- Metode 3.2: Støping med betong eller mørtel
- Metode 3.3: Sprøyting med betong eller mørtel
- Metode 3.4: Utskifting av elementer



Figur 11.2 Reparasjon med sprøytemørtel. (Foto: Norconsult AS)

Prinsipp 4 – Forsterkning av konstruksjonen

- Metode 4.1: Supplering eller utskifting av innstøpt eller ekstern armering
- Metode 4.2: Montering av armering forankret i utsparede eller borede hull
- Metode 4.3: Liming av forsterkningsplater
- Metode 4.4: Påstøping med mørtel eller betong
- Metode 4.5: Injisering av riss, hulrom eller mellomrom
- Metode 4.6: Gjenfylling av riss, hulrom eller mellomrom
- Metode 4.7: Forspenning - etterspenning

Prinsipp 5 – Øking av fysisk motstand

- Metode 5.1: Belegg
- Metode 5.2: Impregnering
- Metode 5.3: Påstøping med mørtel eller betong

Prinsipp 6 – Øking av motstand mot kjemikalier

- Metode 6.1: Belegg
- Metode 6.2: Impregnering
- Metode 6.3: Påstøping med mørtel eller betong

Prinsipp 7 – Bevaring og oppretting av passivitet

- Metode 7.1: Økning av overdekning med mørtel eller betong
- Metode 7.2: Erstatning av infisert eller karbonatisert betong
- Metode 7.3: Elektrokjemisk realkalisering av karbonatisert betong
- Metode 7.4: Realkalisering av karbonatisert betong ved diffusjon
- Metode 7.5: Elektrokjemisk kloriduttrekk

Prinsipp 8 – Økning av elektrisk motstand

- Metode 8.1: Hydrofoberende impregnering
- Metode 8.2: Impregnering
- Metode 8.3: Belegg

Prinsipp 9 – Katodisk regulering

- Metode 9.1: Begrensning av oksygeninnholdet (ved katoden) ved metning eller overflatebelegg

Prinsipp 10 – Katodisk beskyttelse

- Metode 10.1: Katodisk beskyttelse



Figur 11.3 Katodisk beskyttelse parkeringsdekke med anodebånd. (Foto: Stærk & Co as)

Prinsipp 11 – Regulering av anodiske områder

- Metode 11.1: Påføring av aktivt belegg på armeringen
- Metode 11.2: Forsegling av armeringen
- Metode 11.3: Bruk av korrosjonsinhibitorer i eller på betongen

NS-EN 1504-9 er ikke selvuttømmende når det gjelder aktuelle metoder som kan benyttes. Andre metoder kan også anvendes selv om de ikke er nevnt i standarden, men det bør da foreligge dokumentasjon på at metoden vil fungere under de gitte omstendighetene for den aktuelle betongkonstruksjonen.

En skal være oppmerksom på at i noen tilfeller vil et tiltak måtte oppfylle funksjonskrav for flere prinsipper, f.eks. dersom en overflatebehandling skal påføres både for å oppnå beskyttelse mot inntrenging av nedbrytende stoffer og økt slitasjemotstand i betongoverflaten.

For de ulike metodene for reparasjon og beskyttelse av betongkonstruksjonen utarbeides et grovt kostnadsoverslag basert på NS 3453 [68]. Årskostnader for å sammenligne ulike strategier og

metoder med hensyn til hvilket tiltak som over tid vil være økonomisk mest fordelaktig, kan utføres iht. NS 3454 [69].

Som det framgår av reparasjonsprinsippene ovenfor, kan mange metoder være aktuelle. For de aktuelle metodene vurderes både tekniske, økonomiske, estetiske, sikkerhetsmessige og miljømessige konsekvenser. Vektleggingen av de ulike konsekvenser vil variere fra prosjekt til prosjekt. Ut fra en samlet vurdering av konsekvensene for de ulike metodene og deres innbyrdes vektning utarbeides forslag til tiltak. Foreslåtte tiltak prioriteres i forhold til forutsetningene som er lagt til grunn for tilstandsanalysen med angivelse av tidspunkt for utførelse. Tiltak for å sikre liv og helse skal alltid prioriteres.

Regelmessige tilstandsanalyser og riktig vedlikehold er den beste måten å bevare en betongkonstruksjon på og samtidig sikre konstruksjonens autenticitet og integritet.

11.3 Krav til beskyttelses- og reparasjonstiltak på kulturminner

Når tilstandsanalyser utføres på fredete og verneverdige konstruksjoner, skal antikvariske hensyn inngå i vurderingen av aktuelle beskyttelses- og reparasjonstiltak. Det er svært viktig med god dialog med kulturmiljø-/vernemyndighetene for å få avklart både formål og avgrensning av vernet eller fredningen da det vil ha betydning for vurdering og valg av aktuelle beskyttelses- og reparasjonstiltak. Det vil fort oppstå utfordringer i møtet mellom rene tekniske krav og krav til bevaring. Dette understreker bare viktigheten av god dialog med forvaltning i denne fasen av tilstandsvurderingen. De antikvariske konsekvensene for aktuelle tiltak må vurderes i hvert enkelt prosjekt.

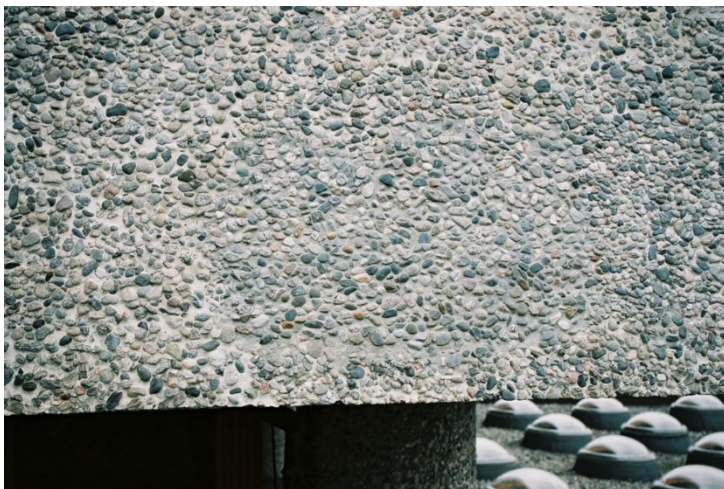
Det er viktig at kulturhistoriske og arkitektoniske verdier blir ivaretatt. Alle tiltak på fredete og verneverdige konstruksjoner krever godkjenning/dispensasjon fra kulturminneforvaltningen. Krav og føringer for tiltak på fredete og verneverdige konstruksjoner kan framgå av vedtak for fredning og vern, verneplaner, reguleringsbestemmelser, regionale eller kommunale bestemmelser og dispensasjonssøknader.

Retningslinjer som skal følges for tiltak på vernete kulturminner kan være overordnede og generelle, og/eller utformet spesielt for hvert enkelt kulturminne. Den antikvariske vurderingen for de ulike tiltakene vil normalt omfatte vurdering av flere aspekter som arkitektur, inngrep, materialer, byggemetode, lesbarhet og endringer [70]. I tillegg kan det være begrensninger på hva som kan skiftes eller fjernes fra kulturminnet.

Innenfor arkitekturelementet vurderes i hvilken grad tiltakene vil bidra til bevaring av karakter, uttrykk og overflate på mikronivå (kort avstand) samt bevaring av bygningens form på makronivå (lang avstand).

Når det gjelder materialer og byggemetoder, skal det vurderes i hvilken grad det ved aktuelle tiltak vil medføre endringer i materialbruk, overflatebehandling, konstruksjon og utførelsesteknikker. Ved bruk av nye materialer kan det være krav om at materialene skal være mest lik opprinnelige materialer mht. materialsammensetning, farge og egenskaper.

Lesbarheten vurderes utfra om tiltakene er lite synlige på avstand og om de kan leses uten å være forstyrrende. Det er ønskelig at alle reparasjoner er lesbare, uten at det går på bekostning av konstruksjonens arkitektur, egenart eller estetikk. Dette vil normalt medføre at opprinnelig overflatestruktur må gjenskapes/reetableres i reparasjonsområdene.



Figur 11.4 Reetablering av opprinnelig overflatestruktur. (Foto: Stærk & Co as)

For de tiltakene som foreslås for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjonen, skal det beskrives hvordan de antikvariske kravene kan ivaretas.

11.4 Krav til produkter og materialer

Krav til produkter og materialer vil normalt bli omtalt på funksjonsnivå, med mindre det er snakk om tiltak på fredede og verneverdige konstruksjoner. Materialer og produkter for metoder angitt i NS-EN 1504-9 [1] skal være i samsvar med kravene i NS-EN 1504 del 2 til 7 [71] [72] [73] [74] [75], NS-EN 14038-1+NA [76], NS-EN 14038-2+NA [77] og NS-EN 12696 [78]. Relevante egenskaper og akseptkriterier framgår av nevnte standarder. For produkter og materialer på fredede og verneverdige konstruksjoner kan det være krav om:

- egenskaper som opprinnelig materiale
- materialsammensetning som opprinnelig materiale
- samme farge som opprinnelig
- bruk av forskalingsmaterialer som opprinnelig
- overflatestruktur

12. Rapportering

Enhver tilstandsanalyse må dokumenteres med en tilstandsrapport. Tilstandsrapporten skal beskrive analyseforutsetninger, betongkonstruksjonen, registrerte skader, konstruksjonens tilstand, tilstandens konsekvenser, utførte undersøkelser samt nødvendige/aktuelle utbedringstiltak med tilhørende kostnadsoverslag.

Det er ønskelig med mest mulig ensartet struktur og oppbygging av tilstandsrapporter, fordi det vil bidra til at bestiller og den som utfører tilstandsanalysen har en felles forståelse av hva som forventes levert med en tilstandsrapport.

Tilstandsrapporten kan bygges opp med følgende hovedstruktur:

Sammendrag

1. Innledning
2. Grunnlagsmateriale
3. Gjennomføring av tilstandsanalysen
4. Visuelle registreringer
5. Undersøkelser og oppmålinger
6. Vurdering av tilstanden
7. Vurdering av tiltak
8. Konklusjon

Referanser og kildehenvisninger

Vedlegg

Tilstandsrapporten skal ha et kortfattet informativt **sammendrag** som inneholder opplysninger om formålet med tilstandsanalysen, hvilke undersøkelser som er utført, resultat av undersøkelsene, beskrivelse av tilstand og konsekvenser, beskrivelse av skadeårsak, behov for tiltak og anbefalte tiltak. Hensikten med sammendraget er at oppdragsgiver (og leser) raskt, ved bare å lese sammendraget, skal få innsikt i hva tilstandsanalysen har omfattet, betongkonstruksjonens tilstand samt nødvendige utbedringstiltak. Sammendraget skal ikke inneholde nye opplysninger, kun være en oppsummering av de viktigste punktene fra rapporten samt de viktigste konklusjonene.

I sammendraget bør en unngå bruk av tabeller. Det skal heller ikke være diskusjoner eller vurderinger i sammendraget. Sammendraget skal stå på egen side uten kapittelnummerering. Selv om sammendraget blir lest først, bør det være det siste som skrives, for å sikre at sammendraget er i full overensstemmelse med rapportens innhold.

Kapitlet «**Innledning**» vil omfatte:

- angivelse av navn på oppdragsgiver
- angivelse av objektet/betongkonstruksjonen(e)
- kort beskrivelse av bakgrunn for tilstandsanalysen
- kort beskrivelse av formålet med tilstandsanalysen
- valg av analysenivå
- kort beskrivelse av omfang av undersøkelser (hele eller deler av konstruksjonen, flere konstruksjoner, etc.)

Kapitlet «**Grunnlagsmateriale**» vil bestå av flere underkapitler som:

- Beskrivelse av betongkonstruksjonen(e) som vil omfatte:

- kort beskrivelse av betongkonstruksjonen og bæresystemet
- angivelse av konstruksjonens lokasjon (beliggenhet, adresse, etc.)
- angivelse av byggeår
- beskrivelse av brukte materialer (betongkvalitet, armeringskvalitet, type overflatebehandling, etc.)
- angivelse av belastning (nyttelast, lastklasse, bruklasse, etc.)
- beskrivelse av vernestatus
- Tilgjengelig dokumentasjon vil omfatte:
 - dokumentasjon fra prosjekteringsfasen ved nybygging (form- og armeringstegninger, teknisk beskrivelse, statiske beregninger, etc.)
 - dokumentasjon fra utførelsesfasen (blanderesepter og støpeprotokoller, kontroll- og prøvingsrapporter, tilslagsmateriale i betongen, byggemøtereferater, etc.)
 - dokumentasjon fra bruksfasen (tidligere tilstandsanalyse, beskrivelse av tidligere utførte vedlikeholds-, rehabiliterings- eller ombyggingsarbeider, bruksendring eller endret belastning, dokumentasjon om ulykker, dokumentasjon om endret miljøeksponering)
 - historisk kildemateriale (ref. oppstilling i kapittel 5.2.2)
- Lokaliseringssystem vil omfatte:
 - beskrivelse av valgt/benyttet lokaliseringssystem med eventuell henvisning til vedlagte tegninger, skisser, foto, etc.

Kapitlet «**Gjennomføring av tilstandsanalysen**» vil omfatte:

- beskrivelse av tidspunkt for utførelse av feltarbeidet samt værforholdene under feltarbeidet
- angivelse av hvem som har utført feltarbeidet og tilstandsanalysen
- angivelse av oppdragsgivers representant
- beskrivelse av valgt analysenivå
- beskrivelse av valgt referansenivå
- beskrivelse av anvendt tilkomstutstyr
- bruk av underleverandører
- redegjørelse for søknader og tillatelser som ligger til grunn for tilstandsanalysen

Kapitlet «**Visuell registreringer**» vil omfatte:

- beskrivelse av registrerte skadesymptom/skader med angivelse av lokalisering og dokumentert med foto
- beskrivelse av skadeomfang
- vurdering av skadegrad

Kapitlet «**Undersøkelser og oppmålinger**» vil bestå av flere underkapitler som:

- Undersøkelser og oppmålinger vil omfatte:
 - beskrivelse av utførte undersøkelser inkludert prøveomfang
 - angivelse av prøvemethoder
 - oppsummering av resultater fra utførte undersøkelser og oppmålinger
- Statistiske vurderinger vil omfatte:
 - beskrivelse av behov for statistiske vurderinger
 - beskrivelse av utførte statistiske vurderinger dersom dette er utført

- beskrivelse av beregningsforutsetninger

Kapitlet «**Tilstandsvurdering**» vil omfatte:

- vurdering av skadeårsak
- vurdering av tilstandens konsekvenser (konsekvensgrad)
- vurdering av risiko
- vurdering av muligheten for skjulte feil og mangler (avvik)

Kapitlet «**Vurdering av tiltak**» vil omfatte:

- beskrivelse og vurdering av aktuelle forvaltningsstrategier
- beskrivelse av kriterier for valgt forvaltningsstrategi
- beskrivelse av kulturhistoriske aspekter for valg av forvaltningsstrategi og utbedringstiltak
- beskrivelse og vurdering av aktuelle tiltak for beskyttelse og reparasjon
- beskrivelse av fordeler og ulemper med ulike utbedringstiltak/-metoder
- beskrivelse og vurdering av behov for supplerende undersøkelser og tilhørende omfang
- grovt kostnadsoverslag for de ulike utbedringstiltakene (kan utføres etter NS 3453 [64])
- ev. vurdering av årskostnader/levetidsvurderinger (brukstid) for ulike utbedringstiltak (kan gjennomføres etter NS 3454 [65])
- ev. vurdering av forventet levetid om mulig
- vurdering av usikkerheten ved kostnadsoverslagene
- anbefaling av utbedringstiltak

Konklusjonen vil være en oppsummering av slutningene som en er kommet fram til ved gjennomføring av tilstandsanalysen. Konklusjonen vil være en kort beskrivelse av betongkonstruksjonen tilstand, tilstandens konsekvenser og risiko samt nødvendige/anbefalte utbedringstiltak. Konklusjonen skal ikke være en gjentakelse av sammendraget, men sammendraget må selvsagt inneholde de viktigste konklusjonene.

Referanser og kildehenvisninger vil omfatte en oppstilling av alle referanser og kilder som er benyttet i tilstandsrapporten. Dette er svært viktig når det gjelder bruk av andres figurer, tabeller og bilder. Slikt materiale har en opphavsrettslig side. Listen med referanser og kildehenvisninger sorteres alfabetisk.

Vedlegg til rapporten kan omfatte ulike dokumenter som:

- fotodokumentasjon
- registreringsskjemaer
- tegninger
- skisser som viser lokaliseringssystem
- resultat materialundersøkelser
- prøvningsrapporter
- evt. statiske beregninger
- kostnadsoverslag
- produktdatablad

Referanser

- [1] Standard Norge, «NS-EN 1504-9:2008+NA:2013 - Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner. Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar. Del 9: Allmenne regler for bruk av produkter og systemer,» Standard Norge, 2013.
- [2] ISO, «ISO 16311-2 - Maintenance and repair of concrete structures. Part 2: Assessment of existing concrete structures,» Standard Norge, 2014.
- [3] Standard Norge, «NS 3424:2012 - Tilstandsanalyse av byggverk. Innhold og gjennomføring,» Standard Norge, 2012.
- [4] Standard Norge, «NS-EN 16096:2012 - Bevaring av kulturminner. Tilstandsanalyse av fedete og verneverdige byggverk,» Standard Norge, 2012.
- [5] Standard Norge, «Veiledning P-764:2015 - Veiledning til NS 3424:2012. Tilstandsanalyse av byggverki. Innhold og gjennomføring,» Standard Norge, 2015.
- [6] Arbeids- og sosialdepartementet, «Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav (Forskrift om utførelse av arbeid),» Lovdata - <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2011-12-06-1357>, 2011.
- [7] Klima- og miljødepartementet, «Lov om kulturminner [kulturminneloven],» Lovdata - <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1978-06-09-50>, 1978.
- [8] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, «Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven),» Lovdata - <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>, 2008.
- [9] Nærings- og fiskeridepartementet, «Lov om offentlige anskaffelser (anskaffelsesloven),» Lovdata - <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2016-06-17-73?q=lov%20om%20offentlige%20anskaffelser>, 2016.
- [10] Nærings- og fiskeridepartementet, «Forskrift om offentlige anskaffelser (anskaffelsesforskriften),» Lovdata - <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-08-12-974?q=Forskrift%20om%20offentlig%20anskaffelser>, 2016.
- [11] Standard Norge, «NS 3450:2014 - Konkurransesgrunnlag for bygg og anlegg. Redigering og innhold,» Standard Norge, 2014.
- [12] J. (. Lindland, «Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner,» Rådgivende Ingeniøreres Forening ANS, Oslo, 1995.
- [13] Statens vegvesen, «Håndbok V441 Bruinspeksjon,» Statens vegvesen, 2019.
- [14] Arbeidstilsynet, «Arbeid i høyden,» Arbeidstilsynet - <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/arbeid-i-hoyden/>.

- [15] Arbeidstilsynet, «Bruk av personløftere,» Arbeidstilsynet - <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/arbeid-i-hoyden/bruk-av-personlofter/>.
- [16] «Renta Byggesystemer AS,» [Internett]. Available: <https://www.bysy.no/bomlift-1625-m-knekkarm-160atj.5964522-354797.html>. [Funnet 15 03 2022].
- [17] Arbeidstilsynet, «Montering og bruk av stillas,» Arbeidstilsynet - <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/arbeid-i-hoyden/montering-og-bruk-av-stillas/>.
- [18] Standard Norge, «NS 9600-1:2020 Tilkommsteknikk - Del 1: Systembeskrivelse og operative rutiner,» Standard Norge, 2020.
- [19] Standard Norge, «NS 9600-2:2020 Tilkommsteknikk - Del 2: Krav til Personell,» Standard Norge, 2020.
- [20] Samferdselsdepartementet, «Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv.,» Lovdata - lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-11-30-1404, 2015.
- [21] Arbeidstilsynet, «Dykking,» Arbeidstilsynet - <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/arbeid-i-hoyden/>.
- [22] Arbeidstilsynet, «Maskiner,» Arbeidstilsynet - <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/maskiner/>.
- [23] Arbeids- og sosialdepartementet, «Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv. (arbeidsmiljøloven),» Lovdata - <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-62>, 2005.
- [24] Arbeids- og sosialdepartementet, «Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter (Internkontrollforskriften),» Lovdata - <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1996-12-06-1127>, 1996.
- [25] Arbeidstilsynet, «Personlig verneutstyr (PVU),» Arbeidstilsynet - <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/personlig-verneutstyr/>.
- [26] Statens vegvesen, «Håndbok N301 Arbeid på og ved veg. Krav og retningslinjer til varsling og sikring,» Statens vegvesen, 2014.
- [27] Store norske leksikon, «Store norske leksikon,» 2016. [Internett]. Available: <https://snl.no/reproduserbarhet>. [Funnet August 2021].
- [28] Store norske leksikon, «Store norske leksikon,» 2016. [Internett]. Available: <https://snl.no/repeterbarhet>. [Funnet August 2021].
- [29] SINTEF, «Byggdetaljblad 520.036 - Kvalitetskontroll av herdet betong. Feltmetoder,» SINTEF, 2007.
- [30] Standard Norge, «NS-EN 14630:2006 Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner - Prøvmingsmetoder - Bestemmelse av karbonatiseringsdybde i herdet betong med fenoltalein-metode,» Standard Norge, 2006.

- [31] Statens vegvesen, «Håndbok R211 Feltundersøkelser,» Statens vegvesen, 2018.
- [32] J. (. Lindland, *Betongrehabilitering. Reparasjonsmetoder, utførelse og kontroll*, Norsk Forening for Betongrehabilitering, 2016.
- [33] ISO, «ISO 8501-1:2007 Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Visual assessment of surface cleanliness — Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall re,» Standard Norge, 2007.
- [34] Norsk Forening for Betongrehabilitering, «Betongrehabilitering. Reparasjonsmetoder, utførelse og kontroll,» Norsk Forening for Betongrehabilitering, 2016, 2016.
- [35] Standard Norge, «ASTM C876-15 Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete,» Standard Norge, 2015.
- [36] Standard Norge, «NS-EN 1542:1999 Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner - Prøvingsmetoder - Måling av heftfasthet ved uttrekksprøving,» Standard Norge, 1999.
- [37] Byggforsk, «Byggdeltajblad 720.431 Elektrokjemisk realkalisering og elektrokjemisk kloriduttrekk av betong,» Byggforsk, 2021.
- [38] Standard Norge, «NS-EN 12504-2:2012 Prøving av betong i konstruksjoner - Del 2: Ikke-destruktiv prøving - Bestemmelse av slaghammerverdi,» Standard Norge, 2012.
- [39] Standard Norge, «NS-EN 12504-4:2021 Prøving av betong i konstruksjoner — Del 4: Bestemmelse av ultralydhastighet,» Standard Norge, 2021.
- [40] Standard Norge, «NS 3511:2014 Måling av relativ fuktighet (RF) i betong,» Standard Norge, 2014.
- [41] Standard Norge, «NS-EN 12390-3:2019 Prøving av herdnet betong - Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet,» Standard Norge, 2019.
- [42] Standard Norge, «NS-EN 12390-4:2019 Prøving av herdnet betong — Del 4: Trykkfasthet — Krav til prøvingsmaskiner,» Standard Norge, 2019.
- [43] Standard Norge, «NS-EN 13791:2019 Vurdering av trykkfasthet i ferdige betongkonstruksjoner og prefabrikkerte betongelementer,» Standard Norge, 2019.
- [44] Standard Norge, «NS-EN 12504-1:2019 Prøving av betong i konstruksjoner - Del 1: Kjerneprøver - Uttaking, vurdering og prøving av trykkfasthet,» Standard Norge, 2019.
- [45] Standard Norge, «NS 3420-L:2019 Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner - Del L: Betongarbeider,» Standard Norge, 2019.
- [46] Standard Norge, «NS-EN 12390-7:2019 Prøving av herdnet betong - Del 7: Densitet av herdnet betong,» Standard Norge, 2019.

- [47] SINTEF, «Byggdetaljblad 520.031 - Kvalitetskontroll og dokumentasjon av herdnet betong. Laboratoriemetoder,» SINTEF, 2015.
- [48] Standard Norge, «NS-EN 12390-13:2013 Prøving av herdnet betong - Del 13: Bestemmelse av sekantmodul for elastisitet under trykk,» Standard Norge, 2013.
- [49] Standard Norge, «NS-EN 14629:2007 Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner - Prøvingsmetoder - Bestemmelse av kloridinnhold i herdnet betong,» Standard Norge, 2007.
- [50] Standard Norge, «NS-EN 12390-10:2018 Prøving av herdnet betong - Del 10: Bestemmelse av karbonatiseringsmotstand til betong ved atmosfærisk konsentrasjon av karbondioksid,» Standard Norge, 2018.
- [51] Standard Norge, «NS-EN 12390-12:2020 Prøving av herdnet betong — Del 12: Bestemmelse av karbonatiseringsmotstand til betong — Akselerert karbonatiseringsmetode,» Standard Norge, 2020.
- [52] Standard Norge, «ASTM C1084:19 Standard Test Method for Portland-Cement Content of Hardened Hydraulic-Cement Concrete,» Standard Norge.
- [53] Norsk Betongforening, «NB-publikasjon nr.32 - Alkalireaksjoner i betong. Prøvingsmetoder og krav til laboratorier,» Norsk Betongforening, 2005.
- [54] SINTEF, «Byggdetaljblad 520.032 - Strukturanalyse av betong. Dokumentasjon av kvalitet og tilstand,» SINTEF, 2017.
- [55] Statens vegvesen, «Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser,» Statens vegvesen, 2016.
- [56] Standard Norge, «CEN/TS 12390-9:2006 Prøving av herdnet betong - Del 9: Fryse/tine-motstand med av-isningssalter - Avskalling,» Standard Norge, 2006.
- [57] Standard Norge, «NS-EN 13396:2004 Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner - Prøvingsmetoder - Måling av kloridinntrengning,» Standard Norge, 2004.
- [58] Standard Norge, «NS-EN 12390-11:2015 Prøving av herdnet betong - Del 11: Bestemmelse av kloridmotstand for betong, ensrettet utbredelse,» Standard Norge, 2015.
- [59] Standard Norge, «NS-EN iso 12572:2016 Byggematerialers og -produkters hygrotermiske egenskaper - Bestemmelse av egenskaper med hensyn til vanndampgjennomgang - Koppmetode (ISO 12572:2016),» Standard Norge, 2016.
- [60] Standard Norge, «NS-EN 15630-1:2019 Stål til armering og forspenning av betong - Prøvingsmetoder - Del 1: Stenger, valsetråd og tråd til ordinær armering (ISO 15630-1:2019),» Standard Norge, 2019.
- [61] Standard Norge, «NS-EN 10080:2005 Armeringsstål - Sveisbar armering - Del 1: Generelle krav,» Standard Norge, 2005.

- [62] SINTEF, «Byggdetaljblad 742.245 - Fjerning av maling fra fasader,» SINTEF, 2001.
- [63] M. (. Maage, *Betong. Regelverk, teknologi og utførelse*, Byggenæringens forlag, 2015.
- [64] Norsk betongforening, «Publikasjon 35 - Bestandighet av betongkonstruksjoner i marint miljø,» Norsk Betongforening, 2011.
- [65] Germann Instrument AS, «[www.germann.org](http://germann.org),» [Internett]. Available: <http://germann.org/products-by-application/chloride-profiling/profile-grinder>. [Funnet 26.august August 2021].
- [66] ISO, «ISO 13822:2010 Bases for design of structures — Assessment of existing structures,» Standard Norge, 2010.
- [67] Standard Norge, «NS 5814:2008 Krav til risikovurderinger,» Standard Norge, 2008.
- [68] Standard Norge, «NS 3453:2016 Spesifikasjon av kostnader i byggeprosjekt,» Standard Norge, 2016.
- [69] Standard Norge, «NS 3454:2013 Livssyklus kostnader for byggverk - Prinsipper og klassifikasjon,» Standard Norge, 2013.
- [70] J. (. Lindland, «Veiledning i metoder for utbedring av karbonatisert betong i verneverdige bygninger,» Riksantikvaren, 2004.
- [71] Standard Norge, «NS-EN 1504-2:2004 Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner - Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar - Del 2: Systemer for overflatebehandling,» Standard Norge, 2004.
- [72] Standard Norge, «NS-EN 1504-3:2005 Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner - Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar - Del 3: Reparasjoner for bærende og ikke-bærende formål,» Standard Norge, 2005.
- [73] Standard Norge, «NS-EN 1504-5:2013 Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner - Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar - Del 5: Injeksjon i betong,» Standard Norge, 2013.
- [74] Standard Norge, «NS-EN 1504-6:2006 Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner - Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar - Del 6: Forankring av armeringsstang,» Standard Norge, 2006.
- [75] Standard Norge, «NS-EN 1504-7:2006 Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner - Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar - Del 7: Korrosjonsbeskyttelse av armering,» Standard Norge, 2006.
- [76] Standard Norge, «NS-EN 14038-1 "Electrochemical realkalization and chloride extraction treatments for reinforced concrete — Part 1: Realkalization",» Standard Norge, 2016.

- [77] Standard Norge, «NS-EN 14038-2 "Electrochemical realkalization and chloride extraction treatments for reinforced concrete — Part 2: Chloride extraction",» Standard Norge, 2020.
- [78] Standard Norge, «NS-EN ISO 12696 "Cathodic protection of steel in concrete ",» Standard Norge.

Høringsutkast juni 2022