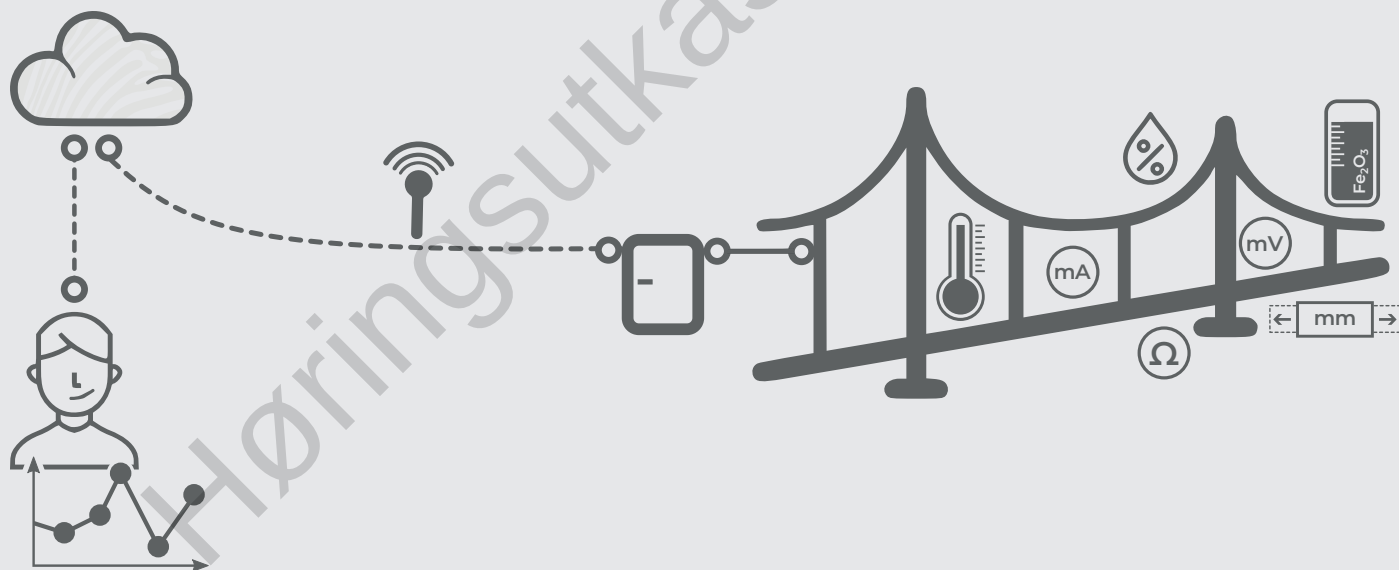


Publikasjon nr. 2

Betongrehabilitering.

Bestandighet av betongkonstruksjoner - instrumentert overvåkning



Illustrasjon: Jan Eri

Høringsdokument

Betongrehabilitering.
Bestandighet av betongkonstruksjoner
– instrumentert overvåkning

Høringsutkast juni 2022

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 er det gjort det ytterste for å sikre at innholdet er i samsvar med kjent viten og de standarder som var gjeldende da arbeidet ble avsluttet.

Noen feil eller mangler kan allikevel ha kommet med.

Norsk Forening for Betongrehabilitering forutsetter at publikasjonen brukes av faglig kompetente personer med forståelse for begrensningene og forutsetningene som alltid legges til grunn, og at det anvendes en sunn ingeniørmessig dømmekraft ved vurdering av de resultater som er en konsekvens av bruken av innholdet i publikasjonen.

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 publikasjonen.

Vi forutsetter at brukerne av publikasjonen har forsikringsordninger som dekker ansvar som kan oppstå om noe av innholdet ikke stemmer, eller om innholdet tolkes eller brukes ingeniørmessig feil.

FORORD

Instrumentert overvåkning av betongkonstruksjoner omtales generelt i NS 3420 Kapittel LY6. Kapittelet inneholder ingen tekniske krav til overvåkningsutstyr. Overvåkningsutstyr er heller ikke omtalt spesielt i noen andre standarder, med unntak av NS-EN 12696 der det omtales som en installasjon ved katodisk beskyttelse. I NS 3420 inngår overvåkningsutstyr for katodisk beskyttelse i Kapittel LY4. Det henvises til NFB-publikasjon nr.1 «Betongrehabilitering. Veiledning til Kapittel LY i NS 3420 – tekniske bestemmelser» Kapittel 0.1 og 0.2 for en detaljert beskrivelse av NS 3420 og relaterte standarder innen betongrehabilitering.

Instrumentert overvåkning av bestandighetsrelaterte parametere for betongkonstruksjoner mangler dermed detaljerte beskrivelser i nasjonalt og internasjonalt regelverk. Formålet med NFB-publikasjon nr. 2 er å sikre god kvalitet av instrumentert overvåkning av betongkonstruksjoner ved å anbefale krav og spesifikasjoner som kan inngå som grunnlag for teknisk beskrivelse i anbuds- og kontraktssammenheng. Det gis også anbefalinger for planlegging og gjennomføring av instrumentert overvåkning. Publikasjonen er et forslag til en felles måte å beskrive instrumentering på, og et verktøy for å øke nytteverdien av kontinuerlig overvåkning. I publikasjonen er det samlet erfaringer fra bruk av instrumentert overvåkning i Norge over de siste 30 årene.

Hoveddelen av denne publikasjonen beskriver generelle aspekter rundt planlegging og gjennomføring av instrumentering (Kapittel 1), kravene og anbefalinger til teknisk utstyr (Kapittel 2), dataoverføring (Kapittel 3), og databehandling (Kapittel 4). I vedlegget beskrives måleprinsippet, bruksområde, levetid og modenhet av forskjellig sensortechnikker. Sensortechnikk er et fagfelt som er under stadig utvikling. Anbefalinger og vurderinger gitt i vedlegget er basert på dagens kunnskap.

Beskrivelse av skademekanismer for betongkonstruksjoner, årsaker og konsekvenser, er ikke behandlet i publikasjonen. Det henvises til relevant litteratur, som for eksempel NFB-publikasjon «Betongrehabilitering: Reparasjonsmetoder, utførelse og kontroll» (Lindland, 2016). Publikasjonen omfatter heller ikke teknikker som brukes for periodiske inspeksjoner (ikke-destruktive teknikker som overdekningsmålinger, eller elektrokjemiske potensialmålinger med eksterne referanseelektroder). Prosjektering av overvåkningsanlegget, plassering av sensorene og tolkning av måleresultatene må alltid foretas av en kompetent sakkyndig.

Utarbeidelsen av publikasjonen er i hovedsak finansiert med midler fra:

- Norsk Forening for Betongrehabilitering
- Tekna med faglige midler til Norsk Forening for Betongrehabilitering
- Statens Vegvesen, Vegdirektoratet
- Consolvo AS
- Mapei AS
- Norcem AS
- Protector AS

Ideen til publikasjonen bli initiert av NFB-styret i 2004:

- Jan Lindland, Styreleder
- Jan Eri, Nestleder

Komiteen for utarbeidelse av denne publikasjonen har bestått av følgende medlemmer i den første perioden fra 2004 – 2013:

- Jan Eri (Protector AS)
- Claus K. Larsen (Statens vegvesen, Vegdirektoratet)
- Trond Østmoen (Aas-Jakobsen AS)
- Olav Ødegård (Ødegård og Lund AS)
- Roar Myrdal (Mapei AS, SINTEF, Normet International Ltd.)
- Paul Stavem (Sto Norge AS, Mapei AS)

Komiteen for utarbeidelse av denne publikasjonen har bestått av følgende medlemmer i den andre perioden fra 2019 – 2022:

- Jan Eri (Protector AS)
- Karla Hornbostel (Statens vegvesen)
- Paul Stavem (Mapei AS)
- Olav Ødegård (Ødegård og Lund AS)
- Andres Belda Revert (Opak AS)
- Roar Myrdal (NTNU)

Vi takker alle bidragsyterne for støtten til prosjektet, og håper at publikasjonen kan bli et nyttig verktøy for alle som skal beskrive, utføre, og følge opp instrumentering av betongkonstruksjoner.

Oslo, xy 2022

Karla Hornbostel (sekretær) og Roar Myrdal (redaktør)

TERMINOLOGI OG DEFINISJONER

Terminologi	Definisjon
Anode	Elektrode som avgir elektroner
Armeringskontakt	Elektrisk forbindelse mellom signalkabel og armering
Armeringskontinuitet	Metallisk (elektrisk) kontakt mellom de enkelte armeringsstål
Armeringspotensial	Armeringens elektrokjemiske potensial i forhold til en referanseelektrode
Datalogger	Permanent installasjon/utstyr som utfører målinger automatisk, og samler inn og lagrer måledata
Depolarisering	Endring i elektrodepotensial som et resultat av at påtrykt strøm/spenning slås av (katodisk beskyttelse)
Egenpotensial	Det naturlige likevektspotensialet til en upåvirket elektrode
Elektrisk ledningsevne	Evnen til et materiale til å lede elektriske ladninger
Elektrisk motstand	Se Ohms lov
Elektrode	Delmateriale i en elektrokjemisk prosess som avgir eller mottar elektroner
Elektrodekalibrering	Kalibrering av en elektrode mot en standard referanseelektrode under gitte miljøbetingelser
Elektrodepotensial	Potensialet til en elektrode i en elektrolytt i forhold til en referanseelektrode
Elektrokjemisk reaksjon	En kjemisk prosess i grensesnittet mellom en elektrode og en elektrolytt
Elektrokjemisk potensialskala	En skala som viser forholdet i egenpotensial mellom ulike materialer/metaller under gitte miljøbetingelser
Elektrolytt	Delmateriale i en elektrokjemisk prosess som gir ionisk ledningsevne mellom anode og katode
Fukttinnhold	Mengden fordampbart vann i et materiale i forhold til dets tørrvekt
Galvanisk (makrocelle) strøm	Korrosjonsstrøm mellom anode og katode som er fysisk adskilt, men forbundet via elektrisk og ionisk kontakt
Galvanisk skille	Et galvanisk skille mellom forskjellige enheter i en installasjon hindrer at elektroner kan utveksles mellom enhetene og dermed også at effekten av "jordfeil" kan spre seg til en større del av installasjonen. Galvanisk skille kan eksempelvis oppnås med transformator eller optiske komponenter.
Innendørs (koblingsskap)	Temperatur mellom -5°C og +40°C, luftfuktighet maksimalt 50% ved +40°C. Skjermet for nedbør og vind.
IR drop	Et spenningsfall i betongen i henhold til Ohms lov. Kan måles som et umiddelbart spenningsfall etter at strømkretsen brytes.
Katode	Elektrode som mottar elektroner
Katodisk beskyttelse	Metode for å stanse / begrense korrosjon på stål i betong ved at stålet påtrykkes en permanent negativ likespenning
Klorid	Negativt ladet ion, Cl^- , fra salt (sjø eller tinesalt)
Korttidsovervåking	Overvåking av parametere i et tidsrom av dager/uker/måneder der hensikten er kontrollmålinger, kvalitetssikring og/eller prosjektering av tiltak (prøvefelt)
Korrosjon	Elektrokjemisk nedbrytning av et metall (rust er et produkt av korrosjon)
Langtidsovervåking	Overvåking av parametere i et tidsrom av år/tiår der hensikten er å følge utviklingen av bestandighet, og som grunnlag for levetidvurderinger samt planlegging av tiltak
Måleområde	En avgrenset del av en konstruksjon eller installasjon der én eller flere typer målinger foretas
Ohms lov	$U=IR$; spenning (V) = strøm (A) x motstand (Ω)
pH	Mål for surhetsgrad / alkalinitet av et materiale; logaritmisk skala fra 0 til 14 i praktiske forhold, der 7 er nøytral, 0 er sur og 14 er basisk; uttrykk for konsentrasjonen av H^+ -ioner
Polarisering	Endring i elektrodepotensial som et resultat av påtrykt strøm/spenning
Porestruktur	Fordelingen og sammenkoblingen av porer med ulik form og størrelse
Porøsitet	Forholdet mellom porenes volum og materialets ytre volum

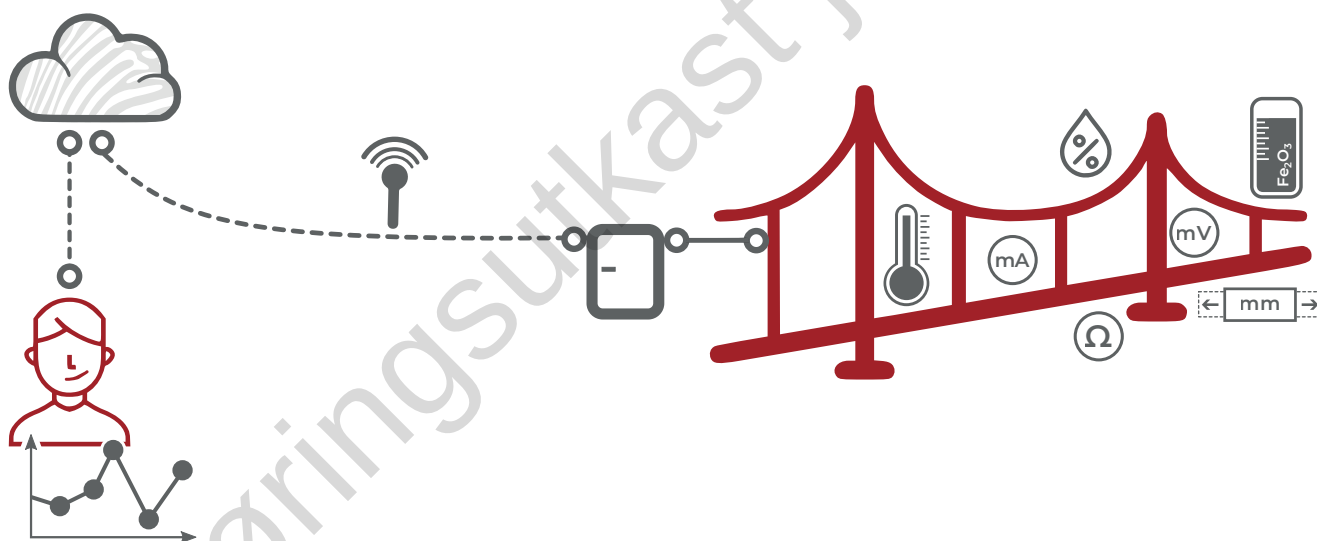
Terminologi	Definisjon
Referanseelektrode	Elektrode som har stabilt egenpotensial og som brukes til å måle potensialet til en elektrode eller armering
Relativ fuktighet (RF)	RF oppgis i % og angir hvor mye vanndamp det er i luft i forhold til det luften kan bære ved den aktuelle temperatur
Resistivitet	Spesifikk elektrisk motstand
Rådata	Ubearbeidede måleresultater benyttet som inngangsverdier for videre analyse
Sensor	Betegner en type føler eller samling av ulike følere som registrerer fysiske og/eller kjemiske parametere, og gir signaler til måleutstyr
Spenningskilde/Strømkilde	Apparatur bestående av transformator, likeretter og oftest reguleringskrets som påtrykker innstilt spenning eller strøm

INNHALDSFORTEGNELSE

	FORBEHOLD OM ANSVAR.....	2
	FORORD.....	3
	TERMINOLOGI OG DEFINISJONER	5
1	INNLEDNING	12
1.1	Formål, bruksområder og målgruppe	12
	1.1.1 Formål.....	12
	1.1.2 Bruksområder	13
1.2	Aktører og kompetansekrav	13
1.3	Planlegging, gjennomføring og oppfølging	14
	1.3.1 Planlegging og prosjektering.....	14
	1.3.2 Installasjon.....	15
	1.3.3 Forvaltning, drift og vedlikehold.....	15
2	TEKNISK UTSTYR	20
2.1	Generelle krav	20
2.2	Elektroder og sensorer.....	20
	2.2.1 Generelle krav.....	20
	2.2.2 Referanseelektroder for måling av potensial.....	21
	2.2.3 Sensorer for måling av elektrisk motstand i betong.....	24
	2.2.4 Sensorer for måling av armeringens korrosjonshastighet	27
	2.2.5 Sensorer for måling av korrosjoninitiering.....	29
	2.2.6 Sensorer for måling av temperatur.....	31
	2.2.7 Sensorer for måling av relativ fuktighet i betong	32
	2.2.8 Andre sensorer – pH, klorid og fukttinnhold	34
	2.2.9 Sensorer for måling av tøyning og deformasjon	35
2.3	Materialer for montering	37
	2.3.1 Generelle krav.....	37
	2.3.2 Mørtel	37
	2.3.3 Lim og fugemasse	38
	2.3.4 Herdeplast til forsegling	38
	2.3.5 Overflatebehandling	39
2.4	Kabler og tilslutninger.....	39
	2.4.1 Generelle krav.....	39
	2.4.2 Kabler og kabelføring.....	39
	2.4.3 Koblingspunkt.....	42
	2.4.4 Armeringskontakt.....	43
	2.4.5 Koblingsskap	43
2.5	Datalogger, måle- og lagringsenheter.....	45
	2.5.1 Generelle krav.....	45
	2.5.2 Krav til materialer og utstyr.....	48
	2.5.3 Krav til utførelse	48
	2.5.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon	48
	2.5.5 Toleranser.....	48

3	DATAOVERFØRING OG KOMMUNIKASJON	52
3.1	Generelle krav	52
3.2	Krav til materialer	52
3.3	Krav til utførelse.....	53
3.4	Kvalitetssikring og dokumentasjon.....	53
3.5	Måleregeler og enheter.....	53
4	DATABASEHANDLING OG PROGRAMVAREFUNKSJONALITET	56
4.1	Databehandling.....	56
4.2	Programvarefunksjonalitet	56
	4.2.1 Brukeradministrasjon og diagnostisering	56
	4.2.2 Måleprogram.....	57
	4.2.3 Presentasjon	58
	VEDLEGG – BAKGRUNNSINFORMASJON SENSORER.....	62
A	Innledning	62
B	Referanseelektroder for måling av potensial	62
	B.1 Formål.....	62
	B.2 Prinsipp.....	62
	B.3 Anvendelsesområde	67
	B.4 Tidsbruk for installasjon.....	68
	B.5 Nøyaktighet og behov for kalibrering	68
	B.6 Levetid	69
	B.7 Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)	69
	B.8 Referanser	69
C	Sensorer for måling av elektrisk motstand i betong	70
	C.1 Formål.....	70
	C.2 Prinsipp.....	70
	C.3 Anvendelsesområde	71
	C.4 Tidsbruk for installasjon.....	74
	C.5 Nøyaktighet og behov for kalibrering	74
	C.6 Levetid	74
	C.7 Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)	74
	C.8 Referanser	75
D	Sensor for måling av armeringens korrosjonshastighet.....	76
	D.1 Formål	76
	D.2 Prinsipp.....	76
	D.3 Anvendelsesområde	77
	D.4 Tidsbruk for installasjon.....	78
	D.5 Nøyaktighet og behov for kalibrering	78
	D.6 Levetid	78
	D.7 Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)	78
	D.8 Referanser	78
E	Sensorer for måling av korrosjoninitiering	79
	E.1 Formål.....	79
	E.2 Prinsipp.....	79
	E.3 Anvendelsesområde	80
	E.4 Tidsbruk for installasjon.....	80

E.5	Nøyaktighet og behov for kalibrering	80
E.6	Levetid	81
E.7	Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)	81
E.8	Referanser	81
F	Sensor for måling av temperatur	82
F.1	Formål	82
F.2	Prinsipp	82
F.3	Anvendelsesområde	82
F.4	Tidsbruk for installasjon	82
F.5	Nøyaktighet og behov for kalibrering	82
F.6	Levetid	82
F.7	Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)	82
F.8	Referanser	82
G	Sensor for måling av relativ fuktighet i betong	83
G.1	Formål	83
G.2	Prinsipp	83
G.3	Anvendelsesområde	84
G.4	Tidsbruk for installasjon	84
G.5	Nøyaktighet og behov for kalibrering	85
G.6	Levetid	85
G.7	Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)	85
G.8	Referanser	85
H	Andre sensorer – pH, klorid og fuktinnhold	86
H.1	Formål	86
H.2	Prinsipp	86
H.3	Anvendelsesområde	86
H.4	Tidsbruk for installasjon	86
H.5	Nøyaktighet og behov for kalibrering	86
H.6	Levetid	87
H.7	Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)	87
H.8	Referanser	87
I	Sensorer for måling av tøyning og deformasjon	88
I.1	Formål	88
I.2	Generelt/ Prinsipp	89
I.3	Anvendelsesområde	91
I.4	Tidsbruk for installasjon	93
I.5	Nøyaktighet og behov for kalibrering	93
I.6	Levetid	94
I.7	Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)	94
I.8	Referanser	94



Illustrasjon: Jan Eri

1 Innledning

Høringsutkast juni 2022

1 INNLEDNING

Med instrumentert overvåkning forstås det en kartlegging av betongkonstruksjoners tilstand gjennom kontinuerlige feltmålinger ved hjelp av plassmonterte sensorer støpt inn i betongen, eller montert på betongoverflaten. Instrumentering innebærer montasje, drift, vedlikehold og avlesing av én eller flere sensorer innenfor et avgrenset tidsrom. Hensikten med instrumentering beskrevet i denne publikasjonen er å samle inn data som enten direkte eller indirekte kan brukes for å vurdere bestandighet og levetid til en konstruksjon. Publikasjonen omfatter ikke instrumentert overvåkning av betongkonstruksjoners lastrespons.

Følgende parametere anses som relevante for instrumentert overvåkning av bestandighet/levetid av betongkonstruksjoner:

- Elektrokjemisk potensial til armering
- Elektrisk motstand i betong
- Initiering av, og hastighet til armeringskorrosjon
- Temperatur, fuktighet, pH og kloridinnhold i betong
- Tøyning, deformasjoner og riss (her: kun når relevant for bestandighet av betongkonstruksjonen; for eksempel for overvåkning av utvikling av en skademekanisme)

I følgende avsnitt er generelle aspekter rundt instrumentering beskrevet, samt relevante momenter rundt ansvarsforhold, planlegging, gjennomføring og oppfølging. Beskrivelsene baserer seg på 30 års erfaring med instrumentert overvåkning i Norge.¹

1.1 Formål, bruksområder og målgruppe

1.1.1 Formål

Målsettingen med overvåkning av betongkonstruksjoner kan være å følge skadeutviklingen i en eksisterende konstruksjon (levetidsvurderinger), eller å kontrollere effekten av vedlikeholds- og reparasjonstiltak. Det kan også være av interesse for nybygg for å dokumentere relevante egenskaper og/eller parametere iht. levetidsutvikling.

Bruk av instrumentert overvåkning i tillegg til rutinemessige inspeksjoner gjør det mulig å følge utviklingen kontinuerlig over lang tid. Overvåkning med sensorer kan likevel ikke erstatte visuelle inspeksjoner og ytterligere undersøkelser (for eksempel materialundersøkelser). Sensorer kan kun overvåke et forholdsvis lite areal av konstruksjonen, som for eksempel områder som er særlig utsatt.

Bruk av instrumentering kan ha som formål:

- Å kontinuerlig overvåke tilstandsutviklingen, og med dette bidra til sikker og pålitelig drift
- Å overvåke tilstanden for å danne et beslutningsgrunnlag for når vedlikehold og/eller reparasjon skal iverksettes
- Å følge opp effekten av vedlikeholdstiltak og/eller reparasjoner, eller for å verifisere om tiltaket fungerer som forutsatt
- Å følge opp spesielle og/eller avanserte konstruksjoner med formål å verifisere designvalgene, for eksempel materialvalg
- Å følge opp særlig utsatte og vanskelig tilgjengelige områder
- Å kontinuerlig overvåke karakteristiske områder som er representative for en større del av konstruksjonen, eller antall konstruksjoner

¹ Dokumentert erfaring med instrumentert overvåkning finnes blant annet i:
Metodikk for instrumentering, dokumentasjon og verifikasjon av konstruksjoner. Nr. 212 i Vegvesenets håndbokserie (utgått), ISBN 82-7207-476-1, september 1999. OFU Gimsøystraumen bru: Anbefalinger for instrumentert korrosjonsovervåkning av kystbruer i betong. Publikasjon nr. 88, Vegdirektoratet, Veglaboratoriet, Oslo, juni 1998.

- Å redusere inspeksjonskostnadene for konstruksjonen gjennom levetiden på grunn av mindre behov for materialundersøkelser og/eller bruk av spesielle målemetoder i felt
- Å registrere tilstanden i spesielt aggressivt miljø for å få tidlig forvarsel for skadeutvikling
- Å utnytte trendinformasjon man kan få fra hyppige målinger, vs. sjeldne inspeksjoner

Før man går i gang med planlegging av instrumentering, må det være helt klart hvilke forhold man ønsker å verifisere og hvilket mål man setter seg for instrumenteringen. En slik analyse kan omfatte konstruksjonstekniske og materialtekniske utredninger. Presist formulert målsetning er viktig for å definere omfang av instrumentering.

Instrumentert overvåkning av tilstand må ha som mål å være kostnadsbesparende i forhold til å utføre periodiske materialundersøkelser som kan gi tilsvarende resultater. Det må samtidig tas høyde for at instrumentert overvåkning sannsynligvis vil føre til at det blir enklere å velge rett tiltak til rett tid, noe som kan være svært kostnadsbesparende. Dette kan forsvare en eventuell noe høyere kostnad for instrumentert overvåkning.

1.1.2 Bruksområder

Instrumentert overvåkning er aktuelt ved planlegging, bygging, drift, og vedlikehold av betongkonstruksjoner. Instrumentering kan være aktuelt både for å overvåke nye og bestående konstruksjoner. Aktuelle konstruksjoner vil være:

- Bruer og ferjekaier
- Tunneler og tunnelportaler
- Rasoverbygg
- Parkeringsanlegg
- Offshore betonginstallasjoner
- Andre betongbygg

Ved implementering i byggefasen er det mulig å følge tilstandsutviklingen fra starten. Installasjon i byggefasen er ofte enklere og mer robust enn ved installasjon ved et seinere tidspunkt. Riktignok kreves det ved tidlig implementering en lang levetid til sensorer og tilhørende utstyr, siden skadeutvikling i betong vanligvis er en langsom prosess som kan gå over flere tiår. Ved installasjon av instrumentering i bestående konstruksjoner må det tas hensyn til mulige vekselvirkninger med innstøpningsmørtler og/eller annet festematerial.

Omfanget av automatisert registrering av måledata ved instrumentering kan være forskjellig. Manuelle avlesninger er den enkleste varianten; det gir imidlertid ikke en kontinuerlig overvåkning. I dag er fjernstyrt og automatisert overvåkning mest brukt.

1.2 Aktører og kompetansekrav

Aktører som kan være med i et instrumenteringsprosjekt er: byggherre, byggteknisk rådgiver, utførende entreprenør, leverandører og installatører. For å sikre en vellykket instrumentering må alle deltakerne ha tilstrekkelig kunnskap om de forhold man ønsker å undersøke, og om metodene som skal benyttes. Under hele prosessen fra planlegging, gjennomføring, og senere drift og vedlikehold, må ansvarsforholdene være avklart.

Det anbefales på det sterkeste at en kompetent person med erfaring i bruk av sensorteknikk, og med kunnskap om bestandighet av betongkonstruksjoner, deltar ved gjennomføringen av installasjonen, eller i det minste overvåker, kontrollerer og dokumenterer installasjonen. Personen skal ha utdanning i relevante fagfelt, helst på sivilingeniørnivå (MSc), men minst på ingeniørnivå (BSc).

For installasjon av utstyr som er del av et anlegg for katodisk beskyttelse, er kvalifikasjonskrav til utførende personell beskrevet i NS-EN 15257. Det henvises også til de nasjonale tilleggene i NS-EN 14038-1:2016/NA:2021 (realkalisering), og i NS-EN 14038-2:2020+NA:2021 (kloriduttrekk), der kompetansekrav til produksjonsleder, formann/bas, kontrollleder og kontrollør er beskrevet. Alle elektriske anlegg tilhørende overvåkningssystemer må utføres iht. standarder for elektrisk arbeid. Anbefalte kompetansekrav for installatører av dataoverføringsutstyr, kabler og tilslutninger, og data-loggerutstyr beskrives i Kapitlene 2.4, 2.5 og 3.

1.3 Planlegging, gjennomføring og oppfølging

1.3.1 Planlegging og prosjektering

Etter at det er gjort en grundig vurdering av forholdene man ønsker å verifisere, og målsetning for instrumentering er definert, må det etableres en prosjektorganisasjon. Prosjekteringen må ivareta alle elementene som inngår i overvåkningssystemet: sensorer, signalledninger og kabler, dataloggere, lagringsenhet og kommunikasjon. Det er viktig å avklare om det er andre forhold (for eksempel andre tekniske installasjoner) som kan påvirke installasjonen som planlegges. Sentral i planleggingsarbeidet er sluttbrukeren (eier av konstruksjonen, byggherre, ansvarlig person/organisasjon for drift av konstruksjonen). Det er sluttbrukeren som må nyttiggjøre seg de innsamlede tilstandsdata.

I prosjekteringsfasen må det tas stilling til omfang og plassering av sensorene. Antall målepunkter må vurderes nøye. Omfang og frekvensen av datainnsamlingen kommer til å definere datamengden som samles inn. Datamengden må være håndterbar og svare til målsetningene for instrumenteringen. Ved valg av sensorer, og tilhørende signalledninger og styringsenheter, må stabilitet, vedlikeholdsprosedyrer, kalibreringsintervall og utskiftningskriterier som funksjon av eksponeringstid vurderes. Det må settes en realistisk driftstid for anlegget. Levetiden for hvert enkelt element av overvåkningssystemet må være tilpasset formålet. Allerede i prosjekteringsfasen er det viktig å etablere rutiner for drift av anlegget, samt å fastlegge ansvar for drift av instrumenteringen og innsamling av måledata. Det gjøres ved å etablere en driftsplan (se Kapittel 1.3.3).

Det må defineres hvordan datainnsamling skal skje (manuell eller automatisert), og hvordan resultatene blir gjort tilgjengelig for sluttbrukeren. Resultater må være lettforståelig for sluttbrukeren og rette seg mot målsetningen for instrumenteringen. I tilfelle data må prosesseres før den gjøres tilgjengelig for sluttbrukeren, må ansvar for dette avklares. Det må være et mål om at databehandlingen er så lite ressurskrevende og enkel å utføre som mulig.

Som resultat av prosjekteringsfasen må det foreligge dokumentasjon som viser overvåkningssystemet detaljert. Prosjekteringsgrunnlaget må inneholde:

- Beskrivelse av bakgrunn og formålet for instrumentert overvåkning.
- Oversikt over prosjektorganisasjon med kontaklinformasjoner om relevante nøkkelpersoner (firma/person) som byggherre, prosjekterende, utførende og driftsansvarlig.
- Generell beskrivelse av overvåkningssystemet der det framgår hva slags målinger som skal utføres og med hvilken frekvens, omfang av instrumenteringen (antall sensorer), spesifikasjon og nøyaktighet på instrumenteringen, datainnsamling, og måten data skal kommuniseres. Det må også framgå hvor data skal lagres og eventuelt videre bearbejdes.
- Tekniske beskrivelser og tegninger:
 - Datablad for alt teknisk utstyr (sensorer, kabler, datalogger, osv.) og andre materialer som skal brukes ved installasjon (innstøpningsmørtler, overflatebehandling, lim- og fugemasser, osv.).
 - Oversiktstegning av konstruksjonen med plassering av sensorer, datalogger, kabelføring og lagringsenhet.
 - Detaljtegning for hver sensorplassering hvor det klart framgår montering, tilkopling med ledningstype, og ledningsføring fram til dataloggere/koblingsbokser.
 - Elektrisk koblingsskjema for sensorer, signalomformere, releer og signalbokser.

- Elektrisk skjema for datainnsamlingssystemet som viser hvilke signaler som føres inn på de ulike data-inngangene, og hvordan signalene konverteres og registreres i dataloggesystemet.
- Prosedyrer for innsamling og lagring av data skal for hvert målesignal inneholde opplysninger om eventuell behandling av sensorsignalet, slik som forsterkning, aktiv stimulering, lavpass- eller høypassfilter (Hz), midling eller momentanverdier.
- Prosedyre for videre databehandling og lagring.
- FDV dokumentasjon (forvaltning, drift og vedlikehold) samt driftsplan.
- Om aktuelt, skal det også tas høyde for plan og beskrivelse av prøvefelt.

1.3.2 Installasjon

Installasjonen omfatter alle arbeider, materialer og utstyr for installering av et overvåkningssystem. Alle sensorer og måleenheter skal funksjonstestes etter installasjonen. Sensorsignal skal registreres ved sensoren (for eksempel med håndholdt utstyr som multimeter, LCR-meter eller lignende), og sammenlignes med signalet som registreres av overvåkningssystemet. Sensorene skal kalibreres i henhold til anbefalinger gitt i Kapittel 2. Kalibreringsprosedyrer og kalibreringsstatus skal dokumenteres, og inngår i kvalitetsplanen.

Installatøren må utarbeide en kontrollplan for det tekniske utstyret med tilhørende prosedyrer for arbeidene som kan inngå i samlet kvalitetsplan for hele prosjektet. Kvalitetskontrollen av teknisk utstyr utføres iht. utarbeidet kvalitetsplan for prosjektet. Etter installering av teknisk utstyr skal det foretas en funksjonstest som dokumenteres i kontrolljournalen. Defekt utstyr skal erstattes.

Kvalitetsplan

- Rutiner for kalibrering av alle sensorer (inkludert kalibreringsprosedyrer)
- Sjekkpunkter for kontroller med tilhørende sjekklister for alle komponenter
- Rutiner for verifikasjoner av måle-, overførings-, og loggesystemet.
- SHA-plan tilpassede prosjektet
- Kontrolljournal og dagbøker

Alle kontrollaktiviteter skal dokumenteres i en kontrolljournal som skal inneholde blant annet navn til utførende, sted og tid for kontroll, kontrollprosedyre, kontrollresultat, osv. Installasjon av sensorene skal dokumenteres i dagbøker som skal inneholde blant annet dato og klokkeslett for installasjon, værforhold, mannskap, utført arbeid, utført kontroll/henvisning til kontrolljournal, visuell dokumentasjon, og andre forhold av betydning for vurdering av arbeidet.

1.3.3 Forvaltning, drift og vedlikehold

FDV-dokumentasjonen skal utarbeides og godkjennes av byggherren/driftsansvarlig før overvåkningsanlegget overleveres. Den skal inneholde alle relevante punkter som sikrer en effektiv overvåking av betongkonstruksjonen, og skal inneholde alle relevante momenter som det er nødvendig å følge opp over ønsket levetid. I FDV-dokumentasjonen skal det også utarbeides en driftsplan for anlegget som inneholder informasjon om periodisk kontroll og verifikasjon av alle sensorer. Utarbeidelsen av FDV-dokumentasjonen og driftsplanen bør være en del av prosjekteringen. Det anbefales å utarbeide FDV dokumentasjon (eller «fødselsattest») iht. ISO 16204:2012.

FDV-dokumentasjonen skal inneholde følgende deler:

Beskrivelse av overvåkningssystemet (se også prosjekteringsgrunnlag)

- Beskrivelse av bakgrunn og formålet for instrumentert overvåking
- Måleprogram og målefrekvens må beskrives, og formål med målingen opp mot hovedformål av instrumenteringen må synliggjøres
- Tekniske beskrivelser og “as-built” tegninger

- Oversikt over lokasjon og beskrivelse av alle komponenter
- Elektrisk koblingsskjema for sensorer, signalomformere, releer og signalbokser
- Beskrivelse av merking i koblingsbokser og av ledninger
- Dokumentasjon for ferdigkontroll/funksjonstest etter installasjonen (kontrolljournaler og sjekklister)

Tilleggsinformasjon

- Konstruksjonens navn
- Oversikt over prosjektorganisasjon som inkluderer minst:
 - Byggherre
 - Prosjekterende
 - Utførende
 - Leverandør
 - Installatør
 - Driftsansvarlig
- Byggeår
- Geografisk plassering

Beskrivelse av ansvarsforhold (teknisk og økonomisk)

Ansvarlig firma/kontaktperson for oppfølging av anlegget må framgå av FDV-dokumentasjon; med fordel skal eventuelle kontraktperioder, garantiperioder, osv. oppgis. Det er som oftest flere personer/firmaer som er ansvarlige for de forskjellige punkter.

- Inspeksjon og oppfølging på stedet (ansvarlig for oppfølging av driftsplanen)
- Software (lisenser etc.) og support
- Hardware og komponenter
- Kommunikasjonsdel
- Behandling av rådata, prosessering og analyse av måledata

Driftsplan

Driftsplanen skal være en del av FDV-dokumentasjonen, men skal anses som et levende dokument som det skal loggføres i, og som skal oppdateres etter behov. Driftsplanen skal inneholde:

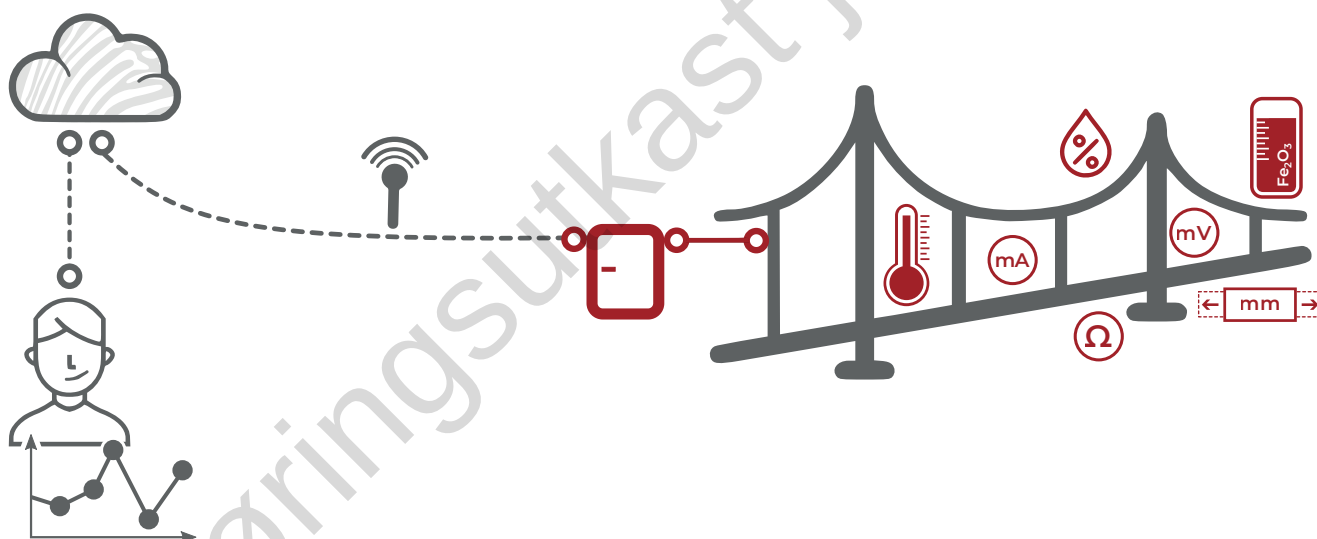
- Rutiner for kontroll og verifikasjon med informasjon om nødvendige tidsintervaller for kontroll.
 - Rutiner for kalibrering av alle sensorer (inkludert kalibreringsprosedyrer). Det anbefales at det utarbeides maler for kontrolljournaler (beskrevet i Kapittel 1.3.2) som skal brukes for periodisk kontroll av alle sensorer.
 - Sjekkpunkter for kontroller med tilhørende sjekklister for alle andre tekniske komponenter.
 - Rutiner for verifikasjoner av måle-, overførings-, og loggesystemet.
- Plan for vedlikehold og utskifting av sensorer og andre komponenter.
- Plan for support og oppdateringer av alle software-komponenter.
- Driftslogg.

Driftslogg: som del av driftsplanen skal det føres en driftslogg over hele levetiden av overvåkingssystemet. I driftsloggen skal det kontinuerlig føres logg over alle utførte inspeksjoner, kontroller (med kontrolljournaler), og utført vedlikeholdsarbeid. Endringer/avvik fra kalibreringsprosedyrer, og utbedring av feil for sensorer og eller andre tekniske komponenter, skal noteres. Det bør også føres logg over uventede hendelser som lengre strømstans og/eller sensorer som periodevis har vært ute av drift. Instrumenteringssystemet bør tas inn i forvaltningssystemet av byggherren som en del/komponent av betongkonstruksjonen. Dermed sikres det at overvåkingssystemet er del av rutinemessige inspeksjoner. Resultater fra overvåkingen bør integreres i forvaltningssystemet slik at resultatene kan nyttiggjøres, og er tilgjengelig for inspeksjonsansvarlig. Resultater fra instrumentering må benyttes sammen med øvrige inspeksjonsdata ved tilstandsvurderinger. Det må også vurderes om det er nødvendig å verifisere og/eller komplementere overvåkingsdata med individuelle målinger og materialundersøkelser for å danne et solid grunnlag for levetidsberegninger.

Ved mistanke om feil på sensorer eller annet utstyr, og på slutten av et overvåkningsprogram, bør utstyr og sensorer kontrolleres. Det må verifiseres at sensorene med tilhørende utstyr og kabler fungerte som tiltenkt, spesielt for de deler som var innstøpt og som ikke var mulig å inspisere i driftstiden. Det kan ha oppstått spaltkorrosjon og/eller korrosjon på kabler, armeringskontakter og/eller andre innstøpningsgoods. Det må verifiseres at det ikke ble utført målinger av slike uønskede hendelser istedenfor de målinger som var selve formålet med overvåkingen.



Høringsutkast juni 2022



Illustrasjon: Jan Eri

2

Teknisk utstyr

Høringsutkast juni 2022

2 TEKNISK UTSTYR

2.1 Generelle krav

Installering/montering av teknisk utstyr omfatter:

- Valg av sensorplassering
- Montering av sensor
- Etablering av armeringskontakt for sensorer som krever dette
- Kabling/ledningsstrekke og kobling til loggeutstyr, samt installasjon av loggeutstyr

Alt teknisk utstyr monteres iht. leverandørens anvisninger.

For utstyr som må vedlikeholdes (kalibreres, skiftes e.l.) skal plasseringen velges og innstøping foregå på en slik måte at det er enkelt å vedlikeholde, eventuelt skifte. Teknisk utstyr som ikke er innstøpt i betongen må beskyttes eller være bestandig iht. eksponering. Utstyr som er tilgjengelig for offentlig-heten må beskyttes mot hærværk.

For alt teknisk utstyr skal det medfølge kontroll- og driftsprosedyrer som vedlegges kvalitets- og/eller driftsplanen.

2.2 Elektroder og sensorer

2.2.1 Generelle krav

Det skal som hovedregel benyttes elektroder og sensorer som er utprøvd og dokumentert for innstøping i betong eller sementbasert mørtel.

Innenfor hvert måleområde skal det monteres minst to sensorer av samme type, dersom ikke annet framkommer i detaljprosjekteringen. De fleste bestandighetsparametere er påvirket av temperatur og fuktighet. Der det er hensiktsmessig skal det utvikles en plan hvordan disse parametere skal samles inn.

Sensorene skal leveres med en detaljert monteringsanvisning som skal legges til grunn for montering/ installasjon av sensorene.

Alle sensorer skal kalibreres og testes før installasjon for å sikre at de fungerer som forutsatt. Ved hver kalibrering føres dato, avvik og justering i en kalibreringsrapport for den enkelte sensor. Kalibrering/ testing kan i noen tilfeller utføres hos leverandøren. Den må i så fall være dokumentert i henhold til kravene som er stilt. Sensorenes kontrolldata/kalibreringsdata (både fra leverandør og egen kontroll) skal dokumenteres, og dokumentasjonen skal oppbevares i minst 10 år.

Alle sensorer skal identifiseres med tall og/eller bokstavkode og registreres/dokumenteres før de installeres. Plassering i forhold til et globalt og lokalt koordinatsystem må noteres. Den opprinnelige tall- og/eller bokstavkode som er oppgitt av leverandøren skal dokumenteres og må kunne knyttes til installerte sensorer.

All montering av sensorer og elektroder skal dokumenteres med fotografi.

Elektroder og sensorer registreres som *antall* levert og montert og har enhet *stk* om ikke annet er angitt for sensortypen (Underkapittel 2.2.x.6).



2.2.2 Referanseelektroder for måling av potensial

2.2.2.1 Generelle krav

Det skal kun benyttes referanseelektroder som har dokumentert egnethet for bruk i betong.

Potensialet skal måles med et voltmeter med høy indre motstand ($\geq 10^6 \Omega$). Krav til tilslutningskabler og tilkoblinger er omtalt i Kapittel 2.4.

2.2.2.2 Krav til materialer og utstyr

Referanseelektroden skal leveres med et kalibreringssertifikat som viser referanseelektrodens egenpotensial målt mot en standard referanseelektrode, for eksempel standard hydrogenelektrode (SHE), mettet kalomelektrode (SCE) eller sølv/sølvkloridelektrode (Ag/AgCl).

Alle referanseelektroder skal kontrolleres/kalibreres før installering. Dette er en kvalitetskontroll som vil luke ut elektroder som ikke fungerer, for eksempel grunnet defekt elektrode, eller brudd på ledning. Kontrollen gjøres i en mettet $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsning ved ca 20 °C. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsningen skal være tildekket når den ikke brukes, røres om for bruk, og skiftes ut etter en ukes bruk. Elektrodens elektrokjemiske potensial måles mot en kalibrert standard referanseelektrode av typen SCE eller Ag/AgCl. Den registrerte kalibreringsverdien skal sammenlignes med leverandørens oppgitte verdi for samme type referanseelektrode. Slik informasjon, samt prosedyre for kalibrering, bør kreves ved kjøp av referanseelektroder. Referanseelektrodens potensial skal være innenfor $\pm 15 \text{ mV}$ i forhold til verdien i kalibreringssertifikatet. Ved eventuell uoverensstemmelse mellom egen og leverandørens kalibreringsverdi, bør ikke referanseelektroden benyttes før uoverensstemmelsen er avklart med leverandøren.

Referanseelektrodens følsomhet for miljøet den er utsatt for skal dokumenteres av leverandøren. Dokumentasjonen bør beskrive følsomhet for temperatur ($\text{mV}/^\circ\text{C}$), og for elektroder brukt i langtids- overvåking også følsomhet for betongens eller mørtelens pH (mV/pH).

Referanseelektroden skal være av en slik størrelse at den er praktisk håndterbar og tilpasset bruksområdet. Størrelsen av elektroden skal ikke skape usikkerheter ved installasjon i eksisterende konstruksjoner.

En detaljert monteringsanvisning skal følge med referanseelektrodene, og denne skal, dersom ikke annet er angitt i oppdragsbeskrivelsen, følges ved montering/installasjon

Hvilken elektrodetype som er best egnet til en gitt måling vil avhenge av målingens varighet. Det skilles mellom langtids- og korttidsovervåking:

Elektroder for langtidsovervåking

Referanseelektroder av typen MnO_2 og Ag/AgCl kan benyttes til alle former for måling og egner seg godt til langtidsmålinger i forbindelse med overvåking av en konstruksjon.

Elektroder for korttidsovervåking

Referanseelektroder av typen MMO (*Mixed Metal Oxide*) og Grafitt kan benyttes til korttidsmålinger i forbindelse med polarisasjonsmålinger (måling av korrosjonshastighet) og til katodisk beskyttelsesanlegg, men ikke til langtidsovervåking. Tidligere ble også Blyelektroder benyttet, men disse blir ustabile etter kort tid grunnet egenkorrosjon, anslagsvis etter ett år. Slike referanseelektroder anbefales derfor ikke.

2.2.2.3 Krav til utførelse

Referanseelektroden må være plassert i samme type elektrolytt (betong/mørtel) som måleobjektet (armering/annet stål), slik at det ikke skapes usikkerhet knyttet til forskjeller i elektrolyttens kjemi (f.eks. pH og O_2 -tilgang) og elektriske ledningsevne.

Elektrodeplassering

Referanseelektrodene plasseres slik at de ivaretar hensikten med målingen. Dette skal gjøres uten å skape usikkerhet knyttet til avstand fra måleobjektet, påvirkning fra omkringliggende konstruksjonsdeler, eller teknisk utstyr (støy eller påvirkning på signaloverføring). Antallet referanseelektroder som installeres skal være i samsvar med målingens hensikt, og skal ta hensyn til konstruksjonens størrelse og kompleksitet.

Det er vanlig praksis å bestemme elektrodeplassering ut fra resultater fra potensialkartlegging på betongoverflaten. Elektrodene støpes vanligvis inn i områder med de mest negative potensialene, det vil si i områder med størst risiko for korrosjon. Avstanden mellom den aktive delen av referanseelektroden og armeringsstålet skal være minimum 20 mm og maksimum 50 mm.

I nye konstruksjoner er det vanlig å installere elektrodene i områder man antar vil være mest utsatt for framtidige korrosjonsproblemer. Antallet referanseelektroder som installeres vil være avhengig av konstruksjonens størrelse og kompleksitet, samt kostnader. I forbindelse med installering av katodisk anlegg vil valg av elektrodeplassering kunne styres av andre hensyn (NS-EN ISO 12696).

Montering

Leverandørens monteringsanvisning skal følges, dersom ikke annet er angitt i oppdragsbeskrivelsen. Det finnes imidlertid noen generelle arbeidsprosedyrer som man skal følge uansett valg av type referanseelektrode:

Ny konstruksjon

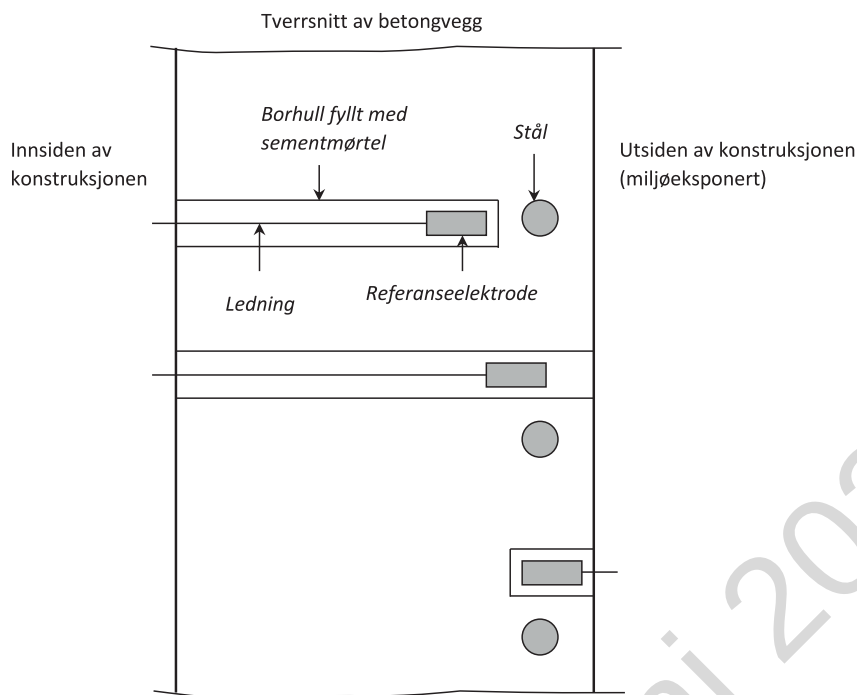
Før støping må referanseelektroden forankres sikkert på det stedet og i den dybden som er valgt – vanligvis i dybdenivå med ytterste armering. Det gjøres ved å feste referanseelektroden til armeringsstangen med alkalibestandige festeklips ("plaststrips"), eller annet alkalibestendig ikke-ledende materiale. Betongen skal omslutte referanseelektroden fullstendig. Det må påses at ingen ionisk ledende del eller metallisk del av referanseelektroden er i direkte kontakt med stålet det skal måles på. Under utstøping må det sikres at installasjonen (elektroden, fastmonteringen og kabling) ikke blir skadet.

Eksisterende konstruksjon

For eksisterende konstruksjoner må det foretas opphugging eller utboring for å plassere referanseelektroden. Referanseelektroden må deretter støpes inn med sementbasert mørtel på en slik måte at elektroden helt omslutes av mørtel. Det er viktig at den delen av stålet som det skal måles på forblir uforstyrret og helt omsluttet av den originale betongen.

Monteringen av referanseelektroden skal ikke påvirke betongen nær stålet det skal måles på. Dette er spesielt viktig ved måling av potensialet til armering på utsiden av konstruksjonen. Om mulig bør derfor referanseelektroder monteres fra innsiden av konstruksjonen. Boring fra innsiden forstyrrer ikke den ytre miljøeksponerte betongoverflaten. Ulike løsninger er illustrert i Figur 2-1. Montering fra utsiden er ofte det eneste alternativet i massive konstruksjoner.

Hullet man borer i den eksisterende betongen skal ha diameter tilpasset den valgte referanseelektroden og mørtelens egenskaper. Mørtelen skal ha en konsistens slik at referanseelektroden kan presses på plass i borehullet uten at luftlommer skapes.



Figur 2-1: Tre alternative teknikker for installering av referanseelektroder i borhull i eksisterende betongkonstruksjoner. Elektrisk armeringskontakt er ikke vist i figuren.

2.2.2.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Kontroll før montering/innstøping

Referanseelektroder for langtidsovervåking skal kvalitetssikres i henhold til beskrivelse i Kapittel 2.2.2.2. Elektroder som ikke tilfredsstiller disse kontrolltestene, skal ikke brukes. Referanseelektroder for korttidsovervåking kontrolleres kun etter montering.

Kontroll etter innstøping

Der hensikten med målingen krever kontroll med referanseelektrodens egenpotensial over lang tid, skal det monteres et sett av minimum to referanseelektroder med innbyrdes avstand mellom elektrodene målepunkt på høyst 50 mm. Et slikt sett av referanseelektroder skal monteres i samme betong eller samme mørtel. Den innbyrdes potensialforskjellen mellom elektrodene i et slikt sett skal registreres over tid. Er avviket lite kan en anta at referanseelektroden er stabil i det angitte tidsrommet. Det skal monteres minst ett slikt sett per 20 referanseelektroder.

Kontroll av elektrisk kontakt mellom referanseelektroden og betongen gjøres ved å måle den elektriske motstanden med vekselstrøm mellom elektroden og armeringen. Vekselstrømmen skal være lav (< 5 mA) for å begrense spenningen som polariserer elektroden, og bør ha frekvens i området 120-1000 Hz. Varigheten av målingen skal ikke overstige 5 s for å unngå å ødelegge elektroden. Målte verdier over $100 \text{ k}\Omega$ kan indikere dårlig kontakt mens lave verdier ($< 0,1 \text{ k}\Omega$) kan indikere kortslutning.

Dokumentasjon

Referanseelektrode

Referanseelektrodene kontrolldata/kalibreringsdata (både fra leverandør og egen kontroll) skal dokumenteres, og dokumentasjonen skal oppbevares i minst 10 år. Hver referanseelektrode skal gis en identitet, eller merkekode, knyttet til kontrolldata og plassering.

Monteringsmaterialer

Typen festeklips, monteringsmørtel og ledninger som benyttes skal dokumenteres.

2.2.2.5 Toleranser

Kontrollverdien før montering skal være innenfor ± 15 mV fra kalibreringsverdien.

Avstanden mellom elektroden og armeringen skal være minimum 20 mm og maksimum 50 mm. Avstand mellom to elektroder i et kontrollsett skal være maksimum 50 mm.

2.2.2.6 Målereglar og enheter

Alle potensialverdier skal oppgis i mV i forhold til den referanseelektroden som ble benyttet ved målingen. Omregning til annen potensialverdi (i forhold til annen referanseelektrode) kan gjøres i henhold til potensialskaaler beskrevet i Vedlegget, Kapittel B.

Mengden av installerte referanseelektroder (inklusive kobling til armering/målesonde) måles som antall levert og montert og har enhet *stk*.

2.2.3 Sensorer for måling av elektrisk motstand i betong

2.2.3.1 Generelle krav

Det skal benyttes motstandssensorer som består av to eller flere elektroder.

Ved bruk av motstandssensorer skal temperatur alltid måles samtidig og ved samme plassering, se Kapittel 2.2.7.

For krav til tilslutningskabler og tilkoblinger vises det til Kapittel 2.4.

For krav til innstøpningsmørtler vises det til Kapittel 2.3.

Motstand i betong skal alltid måles med vekselstrøm som bør ha en frekvens i området 120-1000 Hz.

2.2.3.2 Krav til utførelse

Motstandssensorene skal være produsert av elektrisk ledende materialer som ikke er korrosive i betong eller sementbasert mørtel, og konstruert slik at overgangssonen mellom sensor og betong/mørtel ikke påvirker målingen av elektrisk motstand i betongen.

Motstandssensorer kan bestå av bolter (2-bolt eller 4-bolt oppsett (Wenner-prinsippet)), elektrisk ledende belegg, eller være kommersielle produkter.

Bolt

Det skal benyttes bolter, eksempelvis av rustfri kvalitet, med diameter mellom 8 og 16 mm med lengde tilpasset hensikten med målingen, anslagsvis ikke lenger enn 50 mm.

I den ene enden av hver bolt festes en kabelsko med øye ved hjelp av en selvgjengende skrue. Prinsippene for vanntett og varig elektrisk kontakt gitt i Kapittel 2.4.4 skal følges.

Boltene kan maskeres med krympestrømpe eller epoksy for å avgrense eksponert areal til boltene, slik det er vist i prinsipp i Figur 2-2.



Figur 2-2: Prinsippskisse av utforming av bolt for måling av elektrisk motstand i betong.

Kommersielle produkter

Det skal benyttes en fabrikkprodusert sensor med flere stålringer eller stålstenger med gitt avstand og som er elektrisk isolert fra hverandre. Egenskapene for den aktuelle sensoren skal være dokumentert, og det skal finnes monteringsanvisning.

2.2.3.3 Krav til utførelse

Motstandssensorer brukes for å måle den elektriske motstanden til betongen, og må plasseres og monteres slik at målingene ikke forstyrres av nærliggende metalliske konstruksjonsdeler og/eller store forskjeller i ledningsevne mellom elektrodene.

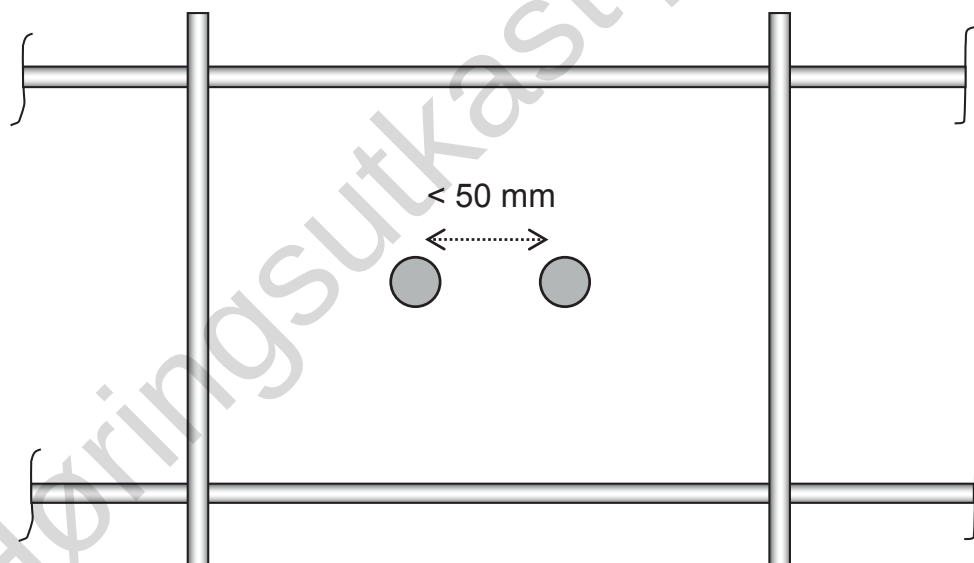
Ingen ionisk ledende del eller metallisk del av motstandssensoren skal være i direkte kontakt med armeringsstålet.

Under utstøping må det sikres at installasjonen (bolten, fastmonteringen og kabling) ikke blir skadet.

Dersom ikke annet er angitt av leverandør eller i annen beskrivelse, så gjelder følgende for de ulike typene sensorer:

2-BoltSensorplassering

Boltene skal plasseres innenfor en armeringsrute og lengst mulig vekk fra armeringsstålet for å unngå innflytelse av armeringen på målingene. Avstanden mellom boltene bør da være inntil 50 mm, men minimum to ganger borchulldiameter.



Figur 2-3: Plassering av bolter etter 2-Bolt prinsippet.

MonteringNy konstruksjon

Før støping må boltene forankres sikkert på det stedet og i den dybden som er valgt – vanligvis i dybde 10-50 mm. Det kan gjøres ved å feste boltene til et fast punkt, og med fast avstand, med alkalibestandig ikke-ledende materiale. Betongen skal omslutte boltene fullstendig.

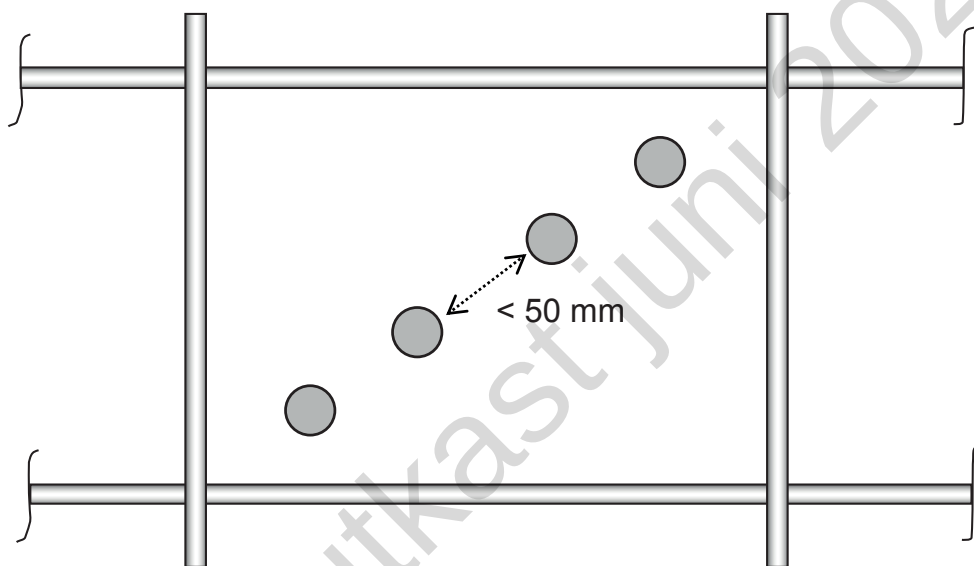
Eksisterende konstruksjon

Boltene plasseres i borehull som er tilpasset boltens diameter og lengde. Ved montering skal boltene skyves sakte inn slik at overskytende mørtel presses ut, og eventuelle hulrom etterfylles med mørtel. Under utharding av mørtel skal boltene stå urørt i minst 12 timer.

4-boltSensorplassering

Boltene skal plasseres innenfor en armeringsrute og lengst mulig vekk fra armeringsstålet for å unngå innflytelse av armeringen på målingene. Boltene skal plasseres på rett linje slik at avstanden mellom hver bolt blir lik (inntil 50 mm), men minimum to ganger borehulldiameter.

Dersom senteravstanden til armeringen umuliggjør dette, kan man vurdere å plassere to bolter på hver side av en armeringsstang.



Figur 2-4: Mulig plassering av bolter ved motstandsmåling etter 4-bolt prinsippet.

MonteringNy konstruksjon

Før støping må boltene forankres sikkert på det stedet og i den dybden som er valgt – vanligvis i dybde 10-50 mm. Det kan gjøres ved å feste boltene til et fast punkt, og med fast innbyrdes avstand, med alkalibestandig ikke-ledende materiale. Betongen skal omslutte boltene fullstendig.

Eksisterende konstruksjon

Boltene plasseres i borehull med diameter og dybde tilpasset boltens diameter og lengde, og som er fylt med mørtel med passende konsistens. Boltene skyves sakte inn slik at overskytende mørtel presses ut, og eventuelle hulrom etterfylles med mørtel. Under utharding av mørtel skal boltene stå urørt i minst 12 timer.

Kommersielle sensorer

Sensoren skal plasseres og monteres etter leverandørens monteringsanvisning. Dersom ikke annet er angitt av leverandør, eller i annen beskrivelse, så gjelder følgende:

Ny konstruksjon

Sensoren festes til et fast punkt med alkalibestandig ikke-ledende materiale. Betongen skal omslutte

sensoren fullstendig. Ingen ionisk ledende del eller metallisk del av elektroden skal være i direkte kontakt med armeringsstål. Under utstøping må det sikres at installasjonen (sensor, fastmonteringen og kabling) ikke blir skadet.

Eksisterende konstruksjon

De fleste kommersielle sensorer er ikke egnet for å måle elektrisk motstand i eksisterende betong, grunnet usikkerheter knyttet til innstøping/montering. Egnethet for bruk i eksisterende konstruksjoner må eksplisitt angis og dokumenteres av leverandøren. Andre bruksområder kan være aktuelle, om det for eksempel skal overvåkes i reparerte områder.

2.2.3.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Etter innstøping og tilstrekkelig utherdning skal hver motstandssensor funksjonskontrolleres. Aktuell motstandsverdi skal loggføres. Verdier under $10\ \Omega$ indikerer kortslutning og over $1\ M\Omega$ indikerer brudd eller dårlig kontakt.

2.2.3.5 Toleranser

Dersom målingene skal benyttes til å beregne elektrisk resistivitet, skal avstanden mellom boltene være dokumentert med nøyaktighet $\pm 3\text{ mm}$.

2.2.3.6 Målereglar og enheter

Motstand skal oppgis i Ω .

Mengden av installerte komplette sensorer måles som antall levert og montert og har enhet *stk*.

2.2.4 Sensorer for måling av armeringens korrosjonshastighet

2.2.4.1 Generelle krav

Armeringens korrosjonshastighet beregnes vanligvis ved hjelp av elektrokjemiske polarisasjonsmålinger som utføres ved bruk av et 3-elektrodeoppsett:

- Arbeidselektrode (armering)
- Motelektrode
- Referanseelektrode

Målingen skal utføres ved at arbeidselektroden polariseres enten ved hjelp av likestrøm, eller ved hjelp av vekselstrøm. Likestrømsmetoden er mest vanlig. Måleprinsippet, samt forholdet mellom polarisasjonsmotstand og korrosjonshastighet, er beskrevet i Kapittel B.2.

For krav til tilslutningskabler og tilkoblinger vises det til Kapittel 2.4.

For krav til innstøpningsmørtler vises det til Kapittel 2.3.

Det skal benyttes referanseelektrode i henhold til Kapittel 2.2.2.

En alternativ metode for å måle korrosjonshastighet er å opprette et måleoppsett der en del av armeringen (den delen som korrodere) ikke er i fysisk/elektrisk kontakt med resten av armeringen. Ved sammenkobling av den isolerte armeringen med restesende armeringsnettet via et ZRA-meter (Zero Resistance Ammeter) kan man måle den galvaniske korrosjonsstrømmen (makrocellestrømmen) mellom det korroderende segmentet (anoden) og det ikke-korroderende segmentet (katoden). Metoden er mest benyttet i laboratorieundersøkelser, sjelden i felt, og er derfor ikke videre utdypet her.

2.2.4.2 Krav til materialer og utstyr

Elektrodeoppsettet skal, etter innstøping i betong eller sementbasert mørtel, gi reproducerbare målinger til beregning av armeringens polarisasjonsmotstand innenfor det tiltenkte tidsrommet målingene skal foregå.

Motelektroden skal være av et elektrisk ledende materiale som er ikke-korrosivt i det miljøet den er tenkt eksponert i, og består vanligvis av titan, eller rustfritt stål med høy PREN-verdi (PREN = Pitting Resistance Equivalent Number). Utforming kan være som vist i prinsippskisse for motstandsbolt, Figur 2-2.

Motelektroden skal være av en slik størrelse at den er tilpasset bruksområdet og i minst mulig grad skaper usikkerheter ved installasjon i eksisterende konstruksjoner (fjerning av betong). Anbefalt lengde på motelektroder parallelt med arbeidselektroden er fra 50 mm til 200 mm, mens for motelektroder vinkelrett på arbeidselektroden skal lengden være maksimum 50 mm. Bredde eller diameter bør være maksimalt 20 mm.

Elektrisk tilkobling til motelektroden skal forsegles slik at den er vanntett. For krav til tilslutningskabler og tilkoblinger vises det til Kapittel 2.4.

Krav til material for referanselektroden er beskrevet i Kapittel 2.2.2.2.

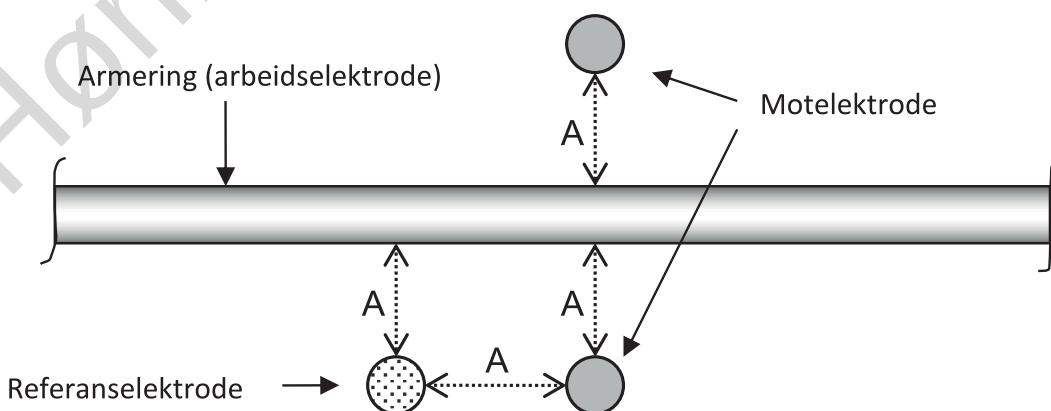
En detaljert monteringsanvisning skal følge med elektrodeoppsettet, og denne skal, dersom ikke annet er angitt i oppdragsbeskrivelsen, følges ved montering/installasjon.

2.2.4.3 Krav til utførelse

For krav til montering av referanselektrode og armeringskontakt vises det til henholdsvis Kapittel 2.2.2.3 og Kapittel 2.4.4.3.

Elektrodeoppsettet skal plasseres slik at det ivaretar hensikten med målingen. Dette skal gjøres uten å skape usikkerhet knyttet til avstand fra måleobjektet (armeringen), påvirkning fra omkringliggende konstruksjonsdeler, eller teknisk utstyr (støy eller påvirkning på signaloverføring).

Ved plassering av motelektrode vinkelrett: Det skal, dersom ikke særlige hensyn taler for annet, benyttes to like, elektriske sammenkoblede, motelektroder som plasseres på hver side av den utvalgte armeringsdelen (arbeidselektroden), slik som illustrert i Figur 2-5. Avstanden (A) mellom elektrodene skal være maksimum 20 mm.



Figur 2-5: Elektrodeoppsett ved måling av korrosjonshastighet på armering der motelektrode er plassert vinkelrett på armering. A = avstand mellom elektrodene.

Montering

Ny konstruksjon

Før støping må motelektroden og referanseelektroden forankres sikkert på det stedet og i den dybden som er valgt – vanligvis i dybdenivå med ytterste konstruktive armering. Det gjøres ved å feste elektrodene til konstruksjonens armering med alkalibestandig ikke-ledende materiale. Betongen skal omslutte elektrodene deler fullstendig. Under utstøping må det sikres at elektrodene med tilhørende kabling ikke blir skadet, spesielt gjelder dette ved bruk av vibrator.

Eksisterende konstruksjon

For eksisterende konstruksjoner må det foretas opphugging/utmeisling eller utboring for å plassere motelektroden og referanseelektroden, som deretter faststøpes med sementbasert mørtel.

Det svært viktig at den delen av armeringsstålet som det skal måles på (arbeidselektroden) forblir uforstyrret og helt omsluttet av den originale betongen. Om mulig, bør derfor sensoren monteres slik at den ytre miljøeksponerte betongoverflaten ikke påvirkes. De ulike monteringsløsningene for referanseelektroden, slik som illustrert i Figur 2-1, er også gjeldende for motelektroden i korrosjonssensorer.

2.2.4.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Kvalitetskontroll av referanseelektroden skal utføres i henhold til Kapittel 2.2.2.4.

Kvalitetskontroll av armeringskontakt skal utføres i henhold til Kapittel 2.4.4.4.

Det skal måles elektrisk motstand med vekselstrøm mellom motelektroden og armeringen etter innstøping for å kontrollere monteringen. Verdier under $10\ \Omega$ indikerer kortslutning og over $1\ M\Omega$ indikerer brudd eller dårlig kontakt.

2.2.4.5 Toleranser

For toleranser knyttet til referanseelektrode vises det til Kapittel 2.2.2.5.

Avstanden mellom motelektrode og armering skal være maksimum 20 mm.

2.2.4.6 Målereglar og enheter

Korrosjonshastighet skal oppgis i $\mu A/cm^2$ (mikroampere per cm^2 ståloverflate). Omregning til annen korrosjonshastighet, f.eks. "korrosjonsdybde" i henhold til Faradays lov, er beskrevet i Vedlegget, Kapittel 4.2.

Mengden av installerte sensorer skal måles som antall levert og skal ha enhet *stk*. Hver sensor skal inkludere Arbeidselektrode (armering), Motelektrode og Referanseelektrode (inklusive koblinger).

2.2.5 Sensorer for måling av korrosjoninitiering

2.2.5.1 Generelle krav

Det skal benyttes kommersielle komplette korrosjonssensorer eller kombinasjon av komponenter som til sammen utgjør en korrosjonssensor. Sensorens anoder skal arrangeres slik at man kan følge korrosjoninitieringen og/eller korrosivitet av betongen i ulike dybder fra betongoverflaten og inn til første lag konstruktiv armering.



En komplett sensor, inklusive måleenhet, skal bestå av følgende komponenter:

- Anode
- Katode
- Tilslutningskabler fra anode og katode
- Referanseelektrode (kan inngå)
- Amperemeter
- Voltmeter (kan inngå)

Anode- og katodematerialene skal ikke være i fysisk berøring med hverandre, men anordnes slik at de forbindes med en tilkoblingskabel via amperemeteret som har som funksjon å måle strømmen som flyter fra katoden til anoden. For de sensorer som er avhengig av referanseelektroder, som ikke er del av sensoren slik den leveres fra leverandør, skal disse velges og monteres i henhold til Kapittel 2.2.2.

For krav til tilslutningskabler og tilkoblinger vises det til Kapittel 2.4.

For krav til innstøpningsmørtler vises det til Kapittel 2.3.

Måleprinsippet er beskrevet i Vedlegget, Kapittel E.

Det skal benyttes måleinstrumenter som er egnet for måling av den parameteren som skal overvåkes. For sensorer som måler korrosjoninitiering ved hjelp av potensialmålinger gjelder kravene til måleinstrumentet i henhold til Kapittel 2.2.2. For sensorer som måler korrosjoninitiering ved hjelp av korrosjonshastighetsmålinger gjelder kravene til måleinstrumentet i henhold til Kapittel 2.2.5.2.

2.2.5.2 Krav til materialer og utstyr

Sensoren innstøpt i betong skal gi reproducerbare målinger av korrosjoninitiering (potensialreduksjon og/eller økning i korrosjonshastighet) på sensorens egne anoder innenfor det tiltenkte tidsrommet målingene skal foregå.

Etter innstøping i betong skal sensoren være helt omsluttet av betong/ementbasert mørtel slik at makrocellestrømmen forblir minimal inntil betongen er karbonatisert og/eller kloridinntrengning har forårsaket initiering av korrosjon på sensorens anode.

Anodematerialet skal være av typen karbonstål med korrosjonsegenskaper i betong tilsvarende armeringsstål.

Katodematerialet skal være av et ikke-korrosivt materiale i det miljøet sensoren er tenkt eksponert i. Vanlige materialer er titan, eller rustfritt stål med høy PREN-verdi (PREN = Pitting Resistance Equivalent Number). Katoden må ha en tilstrekkelig kapasitet for å forsyne alle anoder. Sensorens anoder skal være av karbonstål med korrosjonsegenskaper i betong tilsvarende armeringsstål.

En detaljert monteringsanvisning skal følge med enhver kommersiell sensor, og denne skal, dersom ikke annet er angitt i oppdragsbeskrivelsen, følges ved montering/installasjon.

2.2.5.3 Krav til utførelse

Sensorplassering

Sensoren skal plasseres slik at det ivaretar hensikten med målingen. Dette skal gjøres uten å skape usikkerhet knyttet til betongoverdekning og avstand fra armeringen, påvirkning fra omkringliggende konstruksjonsdeler, eller teknisk utstyr (støy eller påvirkning på signaloverføring). Sensoren skal plasseres i et representativt område av konstruksjonsdelen

Montering

Leverandørens monteringsanvisning skal følges dersom ikke annet er angitt i oppdragsbeskrivelsen. Det skal tas hensyn til følgende generelle prosedyrer, uansett valg av type sensor:

Ny konstruksjon

Før støping må sensoren forankres sikkert på det stedet og i den dybden som er valgt, vanligvis i overdekningssonen, eller i dybdenivå med ytterste konstruktive armering. Det gjøres best ved å montere sensorens festeanordning til konstruksjonens armering med alkalibestandig ikke-ledende materiale. Betongen skal omslutte sensorens deler fullstendig. Under utstøping må det sikres at sensoren med tilhørende kabling ikke blir skadet eller flyttet på, spesielt gjelder dette ved bruk av vibrator.

Det er viktig at dybden til sensorens anode og katode måles i mm fra betongoverflaten og registreres som del av dokumentasjonen.

Eksisterende konstruksjon

Det anbefales ikke å montere sensorer for måling av korrosivitet og/eller korrosjoninitiering i eksisterende konstruksjoner, med unntak av konstruksjoner som er underlagt omfattende reparasjoner der eksisterende betong fjernes, for deretter å påstøpes ny betong. Slike reparerte konstruksjonsdeler kan oppfattes som «ny konstruksjon» der ovenfor angitte prosedyrer kan følges. Et annet unntak er kommersielle sensorer som er spesielt utviklet for bruk i eksisterende konstruksjoner.

2.2.5.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Kvalitetskontroll av referanselektroden skal utføres i henhold til Kapittel 2.2.2.4.

Kvalitetskontroll av armeringskontakt skal utføres i henhold til Kapittel 2.4.4.4.

Det skal måles elektrisk motstand med vekselstrøm mellom motelektroden(e) og sensorens anoder i forskjellige dybder etter innstøping for å kontrollere monteringen. Verdier under $10\ \Omega$ indikerer kortslutning (elektrisk kontakt) og over $1\ M\Omega$ indikerer brudd eller dårlig kontakt (elektrisk isolasjon).

2.2.5.5 Toleranser

For toleranser knyttet til referanselektrode vises det til Kapittel 2.2.2.5.

Avstanden mellom betongoverflaten og sensorens anoder skal være dokumentert med nøyaktighet $\pm 3\text{ mm}$.

2.2.5.6 Måleregeler og enheter

Korrosjoninitiering kan måles ved forskjellige metoder. Det kan uttrykkes som et elektrokjemisk potensial i mV i forhold til den referanselektroden som ble benyttet ved målingen, som korrosjonsstrøm i $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ (stålflate), eller som makrocellestrøm i μA .

Mengden av installerte sensorer (inklusive kobling til armering og eventuelle referanse- og motelektroder) måles som antall levert og montert og har enhet *stk*.

2.2.6 Sensorer for måling av temperatur

2.2.6.1 Generelle krav

Til overvåking av betongtemperatur skal det benyttes temperatursensorer som gir nøyaktige målinger i et relevant temperaturområde, og som er stabile innstøpt i betong. Dersom det benyttes termoelement, skal det være av typen kobber-konstantan, type T. Optisk fiber kan også benyttes som temperatursensor, men det er foreløpig liten erfaring med slik sensorteknologi for langtidsovervåking av betong. Optisk fiberteknologi kan også egne seg til måling av fuktighet i betong (se Kapittel 2.2.8).

2.2.6.2 Krav til materialer og utstyr

Dersom det benyttes termoelement, skal trådens to enkeltledere avisoleres i lengde 10 – 20 mm. Endene på de to avisolerte enkeltlederne skal deretter sveises sammen ved søvlodding og kuttet slik at man får en avgrenset målelengde på maksimalt 5 mm. Sveisepunktet og minst 10 mm inn på termoelementtrådens isolasjon skal til slutt beskyttes med ø8 mm krympestrømpe av alkaliresistent gummi med innvendig lim.

Dersom det benyttes Pt100 eller Pt1000 type sensorer (RTD-sensorer), skal disse være egnet for innstøping i betong.

Alle temperatursensorer skal kalibreres/testes før installering slik at eventuelle defekte sensorer kan lukes ut.

2.2.6.3 Krav til utførelse

Temperatursensoren bør plasseres i samme dybde (overdekning) som andre sensorer og ikke mer enn 50 mm til side for disse, dersom formålet med temperaturovervåkingen er å avdekke temperaturavhengige variasjoner i parametere som overvåkes av andre sensorer, eksempelvis elektrisk motstand.

Ny konstruksjon

Før støping må temperatursensoren forankres sikkert på det stedet og i den dybden som er valgt – vanligvis i dybdenivå med ytterste armering. Det gjøres ved å feste temperatursensoren til armeringsstanga med alkalibestandige festeklips, «plaststrips», eller annet alkalibestendig ikke-ledende materiale. Betongen skal omslutte temperatursensoren fullstendig. Under utstøping må det sikres at installasjonen (sensoren, fastmonteringen og kabling) ikke blir skadet.

Eksisterende konstruksjon

For eksisterende konstruksjoner må det foretas opphugging eller utboring for å plassere temperatursensoren, som deretter faststøpes med sementbasert mørtel på en slik måte at temperatursensoren helt omslutes av mørtel.

2.2.6.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Før installering skal hver temperatursensor kontrolleres ved måling i isvann (0 °C).

Etter installering skal temperatursensoren kontrolleres ved sammenlikning med målt temperatur på skyggelagt betongoverflate nær installeringen. Dersom avviket mellom de to målingene er mindre enn 2 °C regnes den installerte temperatursensoren som intakt og pålitelig.

2.2.6.5 Toleranser

Sensorens nøyaktighet skal ikke avvike mer enn $\pm 1,0$ °C.

2.2.6.6 Målereglar og enheter

Temperaturverdier skal oppgis i °C og mengden installerte sensorer måles som antall levert og har enheten *stk*.

2.2.7 Sensorer for måling av relativ fuktighet i betong

2.2.7.1 Generelle krav

Relativ fuktighet (RF) i betong måles i et lukket hulrom med luft. For å måle RF brukes en sensor som normalt plasseres i et borhull i betongen. Installasjonen lages slik at den i minst mulig grad forstyrrer miljøet i det lukkede hulrom som skal være grundig rengjort. Det skal benyttes sensorer der produsenten kan vise til god stabilitet over tid, og at den tåler betongmiljøet den monteres i.

Denne beskrivelsen er tiltenkt måling av RF i eksisterende betongkonstruksjoner. I NS3511:2014, «Måling av relativ fuktighet (RF) i betong», er måling av RF i nystøpt betong – før overflatebehandling med belegg – beskrevet. Standarden gir en detaljert omtale av prinsippene for måling av RF i nye betongkonstruksjoner.



2.2.7.2 Krav til materialer og utstyr

Sensoren skal være utformet slik at den etter montering ikke påvirkes av temperaturen i luften utenfor betongen.

Dersom sensoren blir utsatt for kondens eller vann i flytende form, skal den fortsatt fungere etter tørking.

Sensoren skal være egnet til å måle fuktighet i området 20-95 % RF.

Etter 1 års drift i betong skal avviket mot siste kalibrering være innenfor ± 2 % RF ved 20 °C og 85 % RF.

2.2.7.3 Krav til utførelse

Sensoren plasseres slik at den er i fysisk kontakt med hulrommet det måles i. Rundt sensoren må det være en forsegling slik at hulrommet er lukket. Før målinger kan utføres, må det være likevekt mellom fukten i betongen og fukten i luftrommet. For måling av RF over tid, bør monteringen være slik at muligheten for fuktinntrengning langs randsonen av sensoren blir lavest mulig.

For målinger på værutsatte flater, bør det tilstrebes å plassere instrumenteringen fra innsiden av konstruksjonen dersom dette er mulig. Ved installasjon for måling over lang tid, må det være lett å demontere sensoren for kalibrering.

Samtidig med måling av RF skal også temperaturen måles. Resultatene presenteres samlet på kurver i diagram med RF/ temperatur- og tidsakse.

2.2.7.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Den viktigste kvalitetssikring er at sensorene før installering kalibreres i luftrommet i et lukket kammer med en mettet saltløsning som gir en kjent luftfuktighet. Kalibreringen utføres når instrumentet og kammeret har samme stabile temperatur som luften i rommet. Det vanlige er å utføre målinger ved 20 °C. Kammeret må være spesialtilpasset den aktuelle sensoren slik at målingene blir utført i et lukket rom.

Ved kalibreringen velges en mettet saltløsning eller ferdigblandet løsning levert i ampuller, som ligger i midten av forventet måleområde for RF. Det vanlige måleområdet for RF i betong er 75-95 %. I dette måleområdet er en vannløsning mettet med f.eks. kaliumklorid (KCl) godt egnet, da denne gir 85,1 ($\pm 0,3$) % RF ved 20 °C. Dersom det skal utføres RF målinger ved lavere verdier, må det undersøkes hvor stabil sensor/instrument er for et større måleområde, f.eks. 20-95 % RF. Det bør vurderes om det er nødvendig å kalibrere sensoren mot en annen mettet saltløsning som gir verdier i ønsket måleområde.

Sensoren kalibreres og justeres i et laboratorium som gir sporbare målinger etter leverandørens anvisninger.

Ved målinger over lengre tid kalibreres sensoren anslagsvis én gang i året, eller med andre tidsintervaller basert på erfaringer med stabiliteten av sensoren i det aktuelle målemiljøet.

2.2.7.5 Toleranser

Sensorens nøyaktighet ved 20 °C og 85 % RF skal være innenfor ± 2 % RF.

2.2.7.6 Måleregeler og enheter

Relativ fuktighet (RF) i et avgrenset luftrom i betong oppgis som % RF ved den aktuelle temperatur oppgitt i °C, og mengden installerte sensorer måles som antall levert og har enheten *stk*.

2.2.8 Andre sensorer – pH, klorid og fuktinnhold

2.2.8.1 Generelle krav

Det skal kun benyttes sensorer som har dokumentert egnethet for innstøping i betong. Det eksisterer liten dokumentert erfaring med denne typen sensorer for langtidsovervåkning i betong. Sensorer for måling av pH og klorid egner seg ikke til innstallering i eksisterende konstruksjoner.

For krav til tilslutningskabler og tilkoblinger vises det til Kapittel 2.4.

For krav til innstøpningsmørtler vises det til Kapittel 2.3.

2.2.8.2 Krav til materialer og utstyr

pH-sensor

Til måling av pH i betong skal det benyttes elektroder av typen iridium/iridiumoksid (IrO_x) som er produsert ved termisk oksidasjon av iridiumtråder. Dersom kommersielle IrO_x -elektroder av denne typen ikke er tilgjengelige, kan det lages tilsvarende elektroder i henhold til faglitteratur (se Vedlegg, Kapittel 9.2). Elektrodene skal alltid kalibreres i pH-området 9,0-13,5 før installering i betong. Alle pH-sensorer benytter referanseelektrode til måling av potensial, som deretter omregnes til pH-verdi. For krav til referanseelektroder, se Kapittel 2.2.2.

Kloridsensor

Til måling av klorid i betong skal det benyttes elektroder av typen sølv/sølvklorid (Ag/AgCl). Elektrodene skal alltid kalibreres før installering i betong i henhold til leverandørens spesifikasjoner. Klorid-sensorer benytter referanseelektrode til måling av potensial, som deretter omregnes til kloridverdi. For krav til referanseelektroder, se Kapittel 2.2.2.

Fuktsensor

Fuktinnhold i betong kan måles på flere måter, enten som relativ fuktighet (se Kapittel 2.2.8), eller indirekte ved motstandsmåling (se Kapittel 2.2.3), eller ved bruk av fiberoptisk polymer. Fuktmåling ved hjelp av fiber er en ny teknologi med liten dokumentert erfaring.

2.2.8.3 Krav til utførelse

Plassering og montering av pH- og kloridsensorer

Sensorene plasseres i områder på konstruksjonen der man ønsker å overvåke kloridinntrengning over tid, og/eller karbonatiseringsfront over tid, det vil si i områder man antar vil være mest utsatt for framtidige korrosjonsproblemer. Dette vil ofte kreve to eller flere sensorer i samme område, men med ulik overdekning for å følge inntrengingen. Dersom flere sensorer installeres i samme område kan en av kloridsensorene fungere som referanseelektrode.

Før støping må sensorene forankres sikkert på det stedet og i den dybden som er valgt. Sensoren kan, hvis hensiktsmessig, først festes til en 'holder' av plast, eller annet alkalibestandig materiale, for å kunne plassere sensoren i ønsket posisjon. Sensoren kan også festes direkte til armering med alkalibestandige festeklips, «plaststrips», eller annet alkalibestandig materiale. Betongen skal omslutte sensoren fullstendig. Under utstøping må det sikres at installasjonen (sensoren, fastmonteringen og kabling) ikke blir skadet.



Plassering og montering av fuktsensor

Sensorene plasseres i områder på konstruksjonen der man ønsker å overvåke endring i fukt over tid. Ofte vil det være hensiktsmessig å plassere minst to fuktsensorer i samme område, men med ulik overdekning.

I en ny konstruksjon (før støping) må sensoren forankres sikkert på det stedet og i den dybden som er valgt. Sensoren kan, hvis hensiktsmessig, først festes til en 'holder' av plast, eller annet alkalibestandig materiale for å kunne plassere sensoren i ønsket posisjon. Sensoren kan også festes direkte til armering med alkalibestandige festeklips, «plaststrips», eller annet alkalibestandig materiale. Betongen skal omslutte sensoren fullstendig. Under utstøping må det sikres at installasjonen (sensoren, fastmonteringen og kabling) ikke blir skadet.

I en eksisterende konstruksjon skal sensoren installeres i et borhull. Sensoren må deretter faststøpes med sementbasert mørtel på en slik måte at sensoren helt omslutes av mørtel. Vær oppmerksom på at fukttilstanden i monteringsmørtelen vil være forskjellig fra fukttilstanden i den omsluttende betongen de første ukene etter innstallering. Etter noe tid vil de to fukttilstandene bli tilnærmet like.

2.2.8.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Det elektrokjemiske potensialet til kommersielle pH- og kloridsensorer kontrolleres i henhold til leverandørens instruksjoner. Måleresultatet fra kontrollen skal sammenlignes med den dokumenterte kalibreringsverdien fra leverandøren. Er avviket fra kalibreringsverdien mer enn ± 10 mV skal ikke sensoren benyttes før avviket er diskutert og avklart med leverandøren. Dersom leverandøren gir anvisninger om andre funksjons- og/eller kalibreringskontroller skal disse gjennomføres. Elektrodesensorer som ikke tilfredsstiller disse kontrolltestene skal ikke brukes i betong. Fuktsensorer kontrolleres kun i henhold til leverandørens anvisning.

Slik dokumentasjon skal også inneholde metodene for omregning av måleverdier til henholdsvis pH-verdi, kloridinnhold og fuktnivå. Hver sensor skal gis en identitet eller merkekode knyttet til kontroll-data og plassering. Type festeklips og monteringsmørtel skal også dokumenteres.

2.2.8.5 Toleranser

Plasseringen av sensorene skal dokumenteres med en nøyaktighet innenfor ± 3 mm. Sensorenes målenøyaktighet kan ikke fastsettes siden disse sensorene fortsatt er under utvikling.

2.2.8.6 Målereglar og enheter

Alle måleverdiene fra elektrodesensorene (pH og klorid) skal oppgis i mV i forhold til den referanse-elektroden som ble benyttet ved målingen, og som beregnet pH-verdi og vekt-% klorid.

Måleverdien fra den fiberoptiske fuktsensoren skal oppgis som % RF (relativ fuktighet) dersom egnet omregningsfaktor (fra faktisk målt verdi) kan benyttes. Hvis ikke slik omregning kan benyttes, skal relative måleverdier benyttes til å sannsynliggjøre endringer i fukttilstand.

Mengden av installerte sensorer måles som antall levert og montert og har enhet *stk*.

2.2.9 Sensorer for måling av tøyning og deformasjon

2.2.9.1 Generelle krav

Det skal benyttes sensorer som er egnet for å måle tøyninger eller deformasjoner i betong.

2.2.9.2 Krav til materialer og utstyr

Tøynings- eller deformasjonssensorer (eller delene som er i kontakt med betong) må være alkalibestandige, og de skal ha en størrelse og funksjon som er egnet til bruksområdet.



Det skal kun benyttes sensorer som gir stabile og reproducerbare målinger innenfor det tiltenkte tidsrommet målingene skal foregå.

Sensorens følsomhet for miljøet den er utsatt for skal dokumenteres av leverandøren.

Dokumentasjonen må beskrive følsomhet for temperatur og for montering.

Når det gjelder liming av sensorer eller deler i eksisterende konstruksjoner, skal det benyttes et sterkt og bestandig lim.

Det skal foreligge monteringsanvisning fra leverandør, og denne skal følges om ikke annet er beskrevet.

2.2.9.3 Krav til utførelse

Leverandørens anvisning følges ved montering om ikke annet er bestemt.

Montering

Nye konstruksjoner

Ved montering av tøyings- eller deformasjonssensor skal plassering fikseres, og det skal utstøpes forsiktig i nærhet av sensor.

Eksisterende konstruksjoner

Dersom sensoren skal monteres i mørtel må riktig plassering sikres slik at måleverdiene er representative. For montering på overflaten må behovet for overflatebeskyttelse vurderes spesielt.

2.2.9.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Dokumentasjon som inneholder type produkt, plassering og monteringsprosedyre skal foreligge, og oppbevares for senere bruk.

Generelt må alle sensorer kalibreres/testes etter montering.

2.2.9.5 Toleranser

Sensorer må monteres i henhold til beskrivelse fra tegninger. Plasseringsnøyaktighet ved montering er ikke kritisk fordi sensorer vil måle uansett. Man kan anta f.eks. ± 2 cm nøyaktighet.

Generelt må alle sensorer kalibreres/testes etter montering.

2.2.9.6 Målereglar og enheter

Sensorer må monteres i henhold til beskrivelse fra tegninger. Plasseringsnøyaktighet ved de vanligste enhetene for hver sensor er oppsummert i Tabell 2.1.

Tabell 2.1: Målereglar og enheter til sensorer for måling av tøyning og deformasjon.

Sensor	Applikasjon	Enhet som rapporteres
Streklapp	Overvåkning av deformasjon	$\epsilon^a)$ (1/1000)
LVDT	Overvåkning av riss/sprekker, ned/	mm
DEMEC	avbøyning, setning	mm $\epsilon^a)$ (1/1000)
Optisk fiber	Overvåkning av riss/sprekker, ned/	$\epsilon^a)$ (1/1000)
	avbøyning, setning	mm

a) $\epsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$ hvor L_1 = Lengde etter bestemt tid, L_0 = Opprinnelig lengde



2.3 Materialer for montering

2.3.1 Generelle krav

Dette kapittelet omhandler materialer som benyttes i forbindelse med montering av sensorer og elektroder. Dette omfatter mørtel, lim, fugemasse, herdeplast og overflatebehandling.

Alle materialer skal være egnet for bruk i og på betong, og ha egenskaper som gjør de stabile og bestandige i det aktuelle miljøet.

Materialer som brukes skal kunne dokumenteres med hensyn til egnethet for det gitte bruksområdet. Egnethet kan dokumenteres ved felterfaring og/eller med relevante laboratorieforsøk.

- Materialene som brukes må:
- Være bestandige i alkalisk miljø
- Være aldriingsbestandige i eksponeringsmiljø
- Være egnet til bruk i det fukt- og temperaturområdet konstruksjonen utsettes for

Dokumentasjon som beskriver tekniske egenskaper, bruksmessige forutsetninger, samt påføringsanvisning skal foreligge.

Materialene skal blandes, påføres og herdes etter leverandørens anvisning, dersom ikke annet er angitt spesielt.

Teknisk datablad med appliseringsveiledning, samt sikkerhetsdatablad skal følges og være tilgjengelig.

Aktuell temperatur og luftfuktighet skal dokumenteres i dagboken både under påføring og herding.

All prising av montering av hver sensortype dekkes av Kapittel. 2.2.

2.3.2 Mørtel

2.3.2.1 Generelle krav

Dette avsnittet omhandler sementbasert mørtel som brukes til montering av ulike typer sensorer og elektroder i eksisterende konstruksjoner.

2.3.2.2 Krav til materialer og utstyr

Den sementbaserte mørtelen skal minst tilfredsstille følgende egenskaper:

Klasse R1 i NS-EN 1504-3:2005

- Være svinnreduert, eventuelt svakt ekspanderende
- Ha dokumentert elektrisk resistivitet tilpasset formålet
- Ikke inneholde bestanddeler som vesentlig endrer den elektriske ledningsevnen til mørtelen over tid (for eksempel flygeaske)
- Være uten hydrofoberingsmidler, eller andre tilsetninger som hindrer vannopptak
- Være uten korrosjonsinhibitorer
- Danne en varig homogen forbindelse med eksisterende betong og sensor

Dokumentasjon som beskriver tekniske egenskaper som elektrisk ledningsevne, samt blande- og monteringsprosedyre skal foreligge.

2.3.2.3 Krav til utførelse

Mørtelen skal blandes etter leverandørens anvisning med anbefalt mengde vann (evt. komp. B) og med den blande- og hviletid som beskrives.

Heftbro skal ikke brukes dersom dette ikke er spesifisert.

Mørtelen kan påføres med vanlig verktøy, og skal ikke brukes etter at avbinding har startet.

For sensorer/elektroder som skal settes i borhull/meiselsår, skal disse rengjøres og forvannes godt, slik at betongen ved påføring av mørtel er fuktig, men uten fritt vann. Det skal sikres at mørtelen helt omslutter den aktuelle sensoren/elektroden og fyller borehullet, slik at luftlommer ikke forekommer. Sensoren skyves sakte inn i borhullet som er fylt med mørtel, slik at overskytende mørtelmasse presses ut. Eventuelle hulrom må etterfylles med mørtel slik at hele sensoren er innstøpt.

Etter utstøping skal mørtelen sammen med sensoren/elektroden stå urørt til mørtelen har herdet. Ved ugunstige værforhold (som vind og høy temperatur) skal området dekket med plast for å hindre for rask uttørring.

2.3.2.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Mørtelen skal etter herding kontrolleres visuelt, og det skal ikke finnes riss eller svake sjikt.

2.3.3 Lim og fugemasse

2.3.3.1 Generelle krav

Dette avsnittet omhandler ulike former for lim som brukes til å feste sensorer/elektroder eller annet installasjonsmateriell til den aktuelle konstruksjon.

2.3.3.2 Krav til materialer og utstyr

Materialene som brukes må:

- Ha tilstrekkelig heft til de ulike delmaterialene
- Ha elastiske egenskaper egnet til bruksområdet

2.3.3.3 Krav til utførelse

Delene som skal limes sammen må før påføring av lim være rene, tørre og fri for fett og løse partikler. Påføring og utherdning av lim må skje i henhold til leverandørens anvisninger med hensyn til forbruk, fuktighet og temperatur.

2.3.3.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Limet eller fugemassen skal etter herding kontrolleres visuelt, og det skal ikke finnes heftbrudd eller svake sjikt.

2.3.4 Herdeplast til forsegling

2.3.4.1 Generelle krav

Herdeplast til forsegling av armeringskontakter og andre tilkoblingspunkt skal være av typen epoksy.

2.3.4.2 Krav til materialer og utstyr

Herdeplastmaterialet skal:

- Være vanntett
- Ikke inneholde komponenter som er elektrisk ledende

2.3.4.3 Krav til utførelse

Underlaget (armering/koblingspunkt/avisolert del av ledning) skal være skikkelig rengjort (slipt, stålbørstet e.l.) og tørt før herdeplastmaterialet påføres.

Det skal ikke tilsettes sand eller andre fillermaterialer i herdeplasten.

Herdeplastmaterialets tykkelse etter applisering skal være minst 2 mm, og materialet skal påføres i en utstrekning som er minst 10 mm til side for selve koblingspunktet langs armeringen/sensoren/elektroden og minst 10 mm inn på ledningens isolasjon.

Det skal påses at det herdete produktet (som kan være sprøtt) ikke skades ved etterfølgende overdekking av mørtel eller betong.

2.3.4.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Teknisk datablad med appliseringsveiledning samt sikkerhetsdatablad skal følges og være tilgjengelig under arbeidet.

Arbeidet skal dokumenteres med beskrivelse av temperatur, blandingsforhold (dersom to-komponent produkt) og fotografier av armeringskontakt før og etter forsegling med herdeplast.

2.3.5 Overflatebehandling

Dette avsnittet inneholder krav til ulike typer overflatebehandling som brukes i forbindelse med instrumentering av betongkonstruksjoner.

2.3.5.1 Generelle krav

Det er krav til at aktuell behandling ikke lokalt skal endre forhold i konstruksjonen på en slik måte at målingene påvirkes, eller kan feiltolkes.

2.3.5.2 Krav til materialer og utstyr

Materialene skal tilfredsstille relevante krav i henhold til NS EN 1504-2.

Det skal foreligge dokumentasjon som beskriver tekniske egenskaper, bruksmessige forutsetninger, samt påføringsanvisning.

2.3.5.3 Krav til utførelse

For alle systemer til overflatebehandling stilles det krav til at utførelse skjer i henhold til leverandørens anvisninger.

2.3.5.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Etter overflatebehandling skal overflaten kontrolleres visuelt.

2.4 Kabler og tilslutninger

2.4.1 Generelle krav

Kabler og tilslutninger skal være tilpasset formålet, enten det er overføring av analoge målesignaler, av digitale signaler, eller strømforsyning til overvåkingsinstallasjonen. De skal dimensjoneres for ikke å forvrengte eller forringe de overførte signaler i løpet av installasjonens levetid.

2.4.2 Kabler og kabelføring

Beskrivelsen omfatter lavspenning (under 48 V) som installeres i forbindelse med instrumentert overvåking og som befinner seg utenfor eventuelle kontrollskap tilknyttet installasjonen. Kabler som besørger tilførsel av nettspenning, eller på annen måte utgjør del av ordinær elektroinstallasjon, reguleres av egne retningslinjer.

2.4.2.1 Generelle krav

Kablene som anvendes skal være slik at

- De er bestandige i miljøet de benyttes i; det skal også omfatte kabelmerking
- De er tilpasset de elektriske signalene som skal overføres
- De er tilstrekkelig skjermet mot påvirkning fra omgivelsene slik at signalkvalitet opprettholdes i aktuelt miljø
- De er tilstrekkelig og entydig merket slik at ikke feilkoblinger oppstår hverken under installasjon, eller ved etterfølgende vedlikeholdsarbeid
- De oppfyller kravene i relevante standarder; spesielt gjelder dette standardkabel (se nedenfor)
- Der hvor halogenfrihet eller sjøvannsbestandighet kreves, skal dette hensyntas

Kablene skal behandles og installeres slik at disse egenskapene opprettholdes.

Det skal gjennomføres kontroll som bekrefter at man måler det samme i begge ender av de kabler som overfører analoge målesignaler. Når denne kontrollen gjennomføres skal alle øvrige sensorer være tilkoblet datalogger og/eller måleenheter, slik som når installasjonen er i ordinær drift. Det skal også kontrolleres at ikke inn- og utkobling av sensoren under test påvirker målingene for andre sensorer.

2.4.2.2 Krav til materialer og utstyr

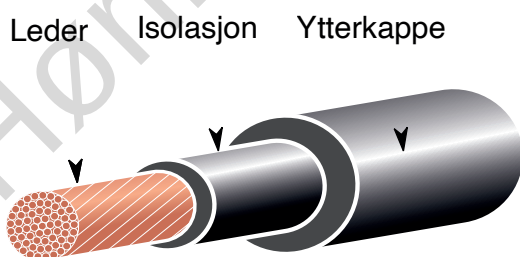
Kabel som legges i betong skal være bestandig i pH opp til 13,5, og dersom betongen er katodisk beskyttet må kabelmaterialene i tillegg være bestandige i pH ned til 2.

Materialene i kabelens leder og isolasjon må ha mekanisk styrke til å tåle de belastninger de utsettes for ved håndtering på anleggs plass og ved installasjon.

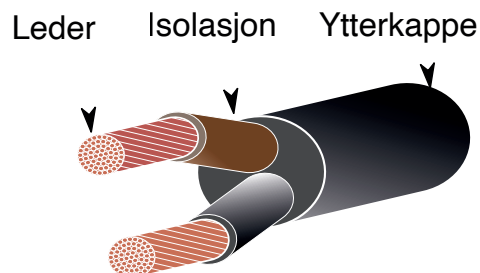
Kabelmaterialene må ellers tilfredsstillende de krav som stilles for hver enkelt kabels formål når det gjelder egenskaper som ledningsevne, induktans, kapasitans og skjerming. Valg av mangetrådet, flertrådet, eller entrådet kabel/ledning gjøres ut fra ønskede stivhetsegenskaper.

Til utendørs bruk skal det benyttes kabel som er tiltenkt slik bruk. Kabel som er ubeskyttet og eksponert for dagslys skal være UV-bestandig.

Alle kabler skal ha minimum ett lag isolasjon og ett lag ytterkappe. Ledertverrsnittet må være stort nok til at temperatur og spenningsfall i kabelen ikke blir større enn det som er akseptabelt ved designstrøm ± 25 % sikkerhetsmargin (ref. EN 60502) for den kabellengde som benyttes.



Figur 2-6: Oppbygging av «dobbelisolert» kabel med en leder. Kabelen har både et lag isolasjon og et lag ytterkappe.



Figur 2-7: Oppbygging av «dobbelisolert» kabel med to ledere. Hver leder har et lag isolasjon og begge lederne omgis av en felles ytterkappe.

2.4.2.3 Krav til utførelse

På steder med høy elektromagnetisk påvirkning, for eksempel fra drivere til LED belysning eller utstyr som krever mye strøm, må forholdsregler tas slik at signalkvaliteten ikke forringes. Dette kan gjøres ved å redusere kabellengde, ved valg av mer støy-immunt signal eller kabelkvalitet, ved ekstraordinær skjerming, eller ved å plassere kabelen lenger vekk fra støykilden. Unngå å la instrumenteringskabler løpe parallelt med kabler som transporterer energi (store strømmer) – påse at instrumenteringskabler krysser slike kabler i 90 graders vinkel.

Spesielt kabler som overfører analoge potensialer (spenninger) kan være følsomme for elektromagnetisk interferens, og lange kabler bør derfor unngås så langt det er mulig. Vær oppmerksom når kabellengden overstiger i størrelsesorden 10 meter.

Kabelmerking (nummer eller farge, se nedenfor) skal følge kabelen fra ende til ende, også der hvor kabelskjøting er tillatt.

Skjøting av kabel skal dokumenteres, og skjøten gis varig vanntett beskyttelse. Der hvor det kreves skal standardisert spesialverktøy og kontakter brukes.

Det skal utvises varsomhet ved håndtering og installasjon av kabel slik at den ikke skades. Kabler skal ikke bøyes med en radius mindre enn 10 ganger sin diameter. Alle kabler skal sikres god strekk-avlastning.

Forøvrig følges leverandørens anvisninger. Ved katodisk beskyttelse skal kravene i NS-EN ISO 12696 være oppfylt.

Spesielt for kabel som inneholder bare én leder

Kabel som inneholder bare én leder skal ha minimum ett lag ytterkappe i tillegg til lederisolasjon («dobbelisolert»). Tverrsnittet for lederen skal være minimum 2,5 mm².

Kabelen skal være fargekodet på denne måten:

- Kabel fra armering: grå, alternativt svart
- Kabel fra referanseelektrode: blå
- Kabel fra andre sensorer: gul eller annen farge, men ikke brun, rød, grå, svart, eller blå

Spesielt for kabel med flere, parvise ledere (parkabel)

Minimum tverrsnitt for hver leder skal være 0,5 mm². Kabelen skal ha både felles skjerm og individuell skjerm for hvert par. De individuelle skjermene skal være isolert fra hverandre. De to lederne i hvert par skal være snodd om hverandre.

Hvert par skal kunne identifiseres tydelig med farge eller nummermerking; det samme gjelder lederne i hvert par.

Spesielt for buss- og standardkabel (som f.eks. TCP/IP, CAN, eller RS-485)

Til applikasjoner som krever standardiserte kabelkvaliteter skal kablene som benyttes tilfredsstillende relevante standarder. Dette gjelder for eksempel kabel som brukes i datanettverk, eller til høyfrekvens-applikasjoner.

Relevant standard beskriver kvalitet, merking, skjøting, terminering, og andre forhold som er viktige for at kabelen skal fungere.

2.4.2.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

All kabelinstallasjon skal håndteres av personell med kompetanse i elektromontasje.

Alle benyttede kabler skal dokumenteres med fullstendig angivelse av merking (farge og/eller nummer), og hva hver enkelt leder er benyttet til.

2.4.3 Koblingspunkt

For tilkobling til armering, se eget kapittel om armeringskontakt, Kapittel 2.4.4.

2.4.3.1 Generelle krav

Der elektriske ledninger sammenkobles med andre ledninger, eller med utrustningens terminaler, skal dette skje på en måte som kan dokumenteres å gi stabil og god elektrisk kontakt i hele installasjonens levetid, for den belastning som er aktuell.

Koblingspunktet må, som en sammenføyning av to eller flere elektriske ledere, gi så god elektrisk kontakt at punktets innflytelse på signalet som transporteres kan ignoreres. For koblingspunkt i tilknytning til strømforsyning eller annen energioverføring skal koblingspunktet være tilpasset aktuell strøm og spenning.

Koblingspunktet skal etableres på en måte som er akseptert brukt til formålet i aktuelt miljø, enten det er med pluggbare kontakter, skruklemmer, press-løsninger (som kabelsko), skjære-løsninger (som IDC, «insulation displacement connector»), eller lodding.

2.4.3.2 Krav til materialer og utstyr

Det ytre kapslingsmaterialet for et koblingspunkt i betong må tåle $2 \leq \text{pH} \leq 13,5$.

2.4.3.3 Krav til utførelse

Når et koblingspunkt etableres på et sted der vann kan komme til, f.eks. innstøpt i betong eller eksponert for ordinært utendørsklima, må koblingspunktet innkapsles slik at det er vanntett (minimum IP 67 etter IEC 529). Innkapslingen skal være så mekanisk robust at den tåler de belastninger den blir utsatt for både i installasjonsfasen og i installasjonens levetid.

Om mulig skal koblingspunkt utføres slik at det er mulig å komme til for kontrollmålinger, eventuelt ved å bryte koblingspunktet og å re-etablere det. Eventuell koblingsboks må være stor nok til det kan arbeides i den, og til at det er plass til overskuddslengde av de tilførte ledningene.

Alle koblingspunkt i boks, samt andre koblingspunkt som kan brytes med plugg eller skruing, skal enkeltvis være merket med unik og bestandig identifikasjon i form av farge, siffer, eller bokstaver. Selve boksen skal også merkes med unik identifikasjon, både på innsiden og på utsiden, og både på lokk og på underdel hvis disse er todelt slik at de kan forveksles.

2.4.3.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Kontroll av hvert enkelt koblingspunkt gjøres med motstandsmåling med vanlig multimeter der det er mulig, eller med annet måleutstyr som kan bekrefte god kontakt. Motstanden skal ikke overskride 0,05 Ω etter at motstand i målekabler er fratrasket.

Alle koblingspunkt innkapslet i boks, eller som kan brytes med plugg eller skruing, skal merkes med unik identifikasjon på begge sider. Denne identifikasjonen skal beskrives i dokumentasjonen med tilhørende signalbetegnelse, likeledes koblingsboksenes identifikasjon og rolle.



2.4.4 Armeringskontakt

Dette avsnittet beskriver tilkopling av kabel/ledning til armeringsstål. For andre koblingspunkt, se Kapittel 2.4.3.

2.4.4.1 Generelle krav

For de sensorer som er avhengig av elektrisk kontakt med armeringsstål skal slik kontakt etableres med en koblingsmetode som er dokumentert å gi varig og god kontakt i betong.

2.4.4.2 Krav til materialer og utstyr

Den ferdige koblingen mellom armeringsstål og måleledning må forsegles slik at den er vanntett. Forsegling utføres med herdeplast eller tilsvarende ikke-ledende masse som er vanntett og bestandig i betong (se Kapittel 2.3.4).

2.4.4.3 Krav til utførelse

Alle armeringsstenger som overvåkes skal ha sin egen armeringskontakt. Det skal ikke benyttes felles armeringskontakt for flere stenger. Armeringskontakten skal etableres på den armeringsstang som overvåkes, ikke nærmere enn 10 cm og ikke lenger vekk enn 100 cm fra sensorens øvrige bestanddeler.

Ved etablering av kontakten skal armeringsstål være frilagt i en slik grad at man med sikkerhet kan oppnå tett, ubrutt forsegling av hele kontaktpunktet etter at det er ferdig etablert.

Ren, blank stålfate etableres i koblingspunktet f.eks. ved sliping eller boring for å sikre god kontakt. Armeringskontakten etableres på en slik måte at den er mekanisk solid og gir god, varig elektrisk kontakt mellom armeringsstål og ledning. Dette kan gjøres med skrue, klemme, nagle, eller eksotermisk sveiseteknikk.

Når kontakten er etablert skal den forsegles (dvs. vanntett innkapsling). Forseglingen skal omfatte hele koblingspunktet inklusiv eventuelle skruer og klemmer og all måleledning uten isolasjonsskappe, på en slik måte at koblingspunktet er fullstendig beskyttet av en vanntett kapsling.

2.4.4.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Metoden som benyttes for å etablere armeringskontakten skal beskrives, og gjennomføringen av den skal dokumenteres, også med fotografering.

Kontroll av hver enkelt armeringskontakt gjøres etter forsegling og før støping, eventuelt gjenmørtling. Kontrollen gjennomføres med vanlig multimeter eller annet instrument som måler elektrisk motstand. Måleinstrumentet tilkobles armeringsstangen like ved armeringskontakten og til den andre enden på ledningen som er tilkopledd armeringskontakten. Målt motstand skal være maksimalt 0,05 Ω , etter at motstand i målekabler er fratrasket.

2.4.5 Koblingsskap

2.4.5.1 Generelle krav

Koblingsskap skal gi varig og tilstrekkelig beskyttelse av sitt innhold mot omgivende miljø og mot uvedkommende, samt være tilrettelagt for enkel utførelse av kontroll- og servicearbeid på utstyret det inneholder.

Koblingsskap-kvaliteten skal ta hensyn til de forhold som råder der koblingsskapet monteres. Spesielt må det skilles mellom montering innendørs, utendørs, i marint miljø med høyt saltnivå, og i miljø som er spesielt EMI (ElectroMagnetic Interference) utsatt. Dersom miljøet er utsatt for spesiell kjemisk belastning, må hvert enkelt tilfelle analyseres.



2.4.5.2 *Krav til materialer og utstyr*

Materialvalg bestemmes av koblingsskapets plassering og størrelse. Miljøet beskrives med korrosivitetssklasse som beskrevet i Tabell 1:23a i NS-EN ISO 12944-2, og valg av materialer i skapet skal harmonere med dette.

I spesielt EMC utsatt område skal det om nødvendig benyttes koblingsskap i stål med ekstra EMC beskyttelse. Behovet avklares med utstyrsleverandører.

2.4.5.3 *Krav til utførelse*

Nye koblingsskap skal være ferdig bygget og testet før levering på monteringsstedet. Alle hull i koblingsskapet skal være laget før utstyr monteres, dette er spesielt viktig for metallskap der metallspenning fra boring kan føre til kortslutninger. Hull i toppen av koblingsskapet skal unngås. Ledninger til koblingsskapet trekkes, så langt det er mulig, inn i koblingsskapet gjennom hull på undersiden av koblingsskapet.

Koblingsskap skal minimum ha tetthetsgrad IP55 (EN 60529). Det skal påses at tetthetsgraden opprettholdes etter at koblingsskapet er montert og ledningsgjennomføringer utført.

Fagmessig utførelse av prosjektering og installasjon skal sikres ved bruk av personell med relevant kompetanse, for eksempel automatiker, elektriker eller ekom-montør. Relevante standarder er NEK 400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner og NEK 700 Informasjonsteknologi.

Installasjon av koblingsskapet skal gjøres av kvalifisert personell. Tilkopling til nettspenning skal utføres av autorisert elektriker.

Koblingsskap som er tilgjengelig for allmennheten skal være utstyrt med sylinderlås.

Koblingsskap skal være utstyrt med innvendig lampe. Dersom koblingsskapet er tilkopledd nettspenning skal det inneholde et ledig stikk slik at servicearbeider kan utføres uten å koble ut noe av utstyret i koblingsskapet.

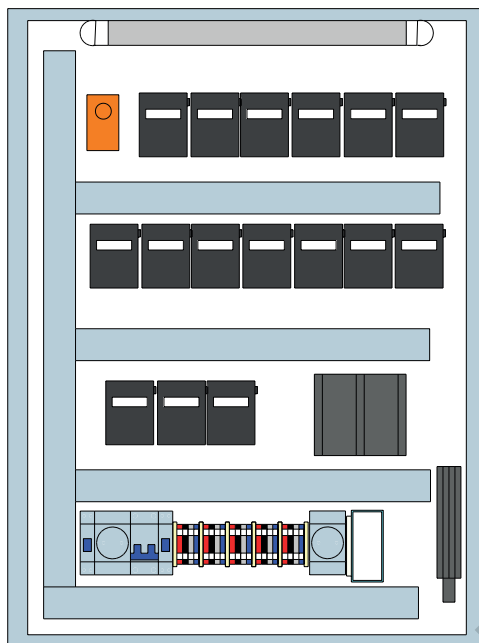
Koblingsskap som er montert utendørs, og alle koblingsskap som inneholder elektronikk-komponenter, skal inneholde utrustning for å redusere faren for at det dannes kondens i koblingsskapet. Slik utrustning kan være termostattyrt varmeelement eller vifte.

Koblingsskap som plasseres slik at de over lengre tid (dager) vil forventes å kunne oppnå temperatur på over +35 °C skal inneholde termostattyrt kjøleelement.

Dersom nettspenningen er tilført koblingsskapet via luftspenn skal koblingsskapet ha overspenningsbeskyttelse. Likeledes, dersom koblingsskapet er tilkopledd kommunikasjonslinje (eksempelvis telefonlinje) via luftspenn, skal denne være beskyttet med overspenningsbeskyttelse. Krav til beskyttelse skal vise til klasse/type som angitt i relevant standard, f.eks. NEK IEC 61643-11 «Overspenningsavledere koblet til lavspente effektsystemer - Krav og prøvingsmetoder».

Koblingsskapet skal være utstyrt med tydelig merket automatsikring for nettspenning.

Dersom ordinært inspeksjonsarbeid i skapet krever spesialverktøy, skal dette verktøyet være fast plassert i koblingsskapet.



Figur 2-8: Eksempelskisse av koblingsskap. Skapet inneholder stikkontakter, sikringer, koblingsklammer, lys, termostatstyrt varme, 4G router og kanaler som skjuler kabelføring. I tillegg kommer utstyret som overvåker sensorene.

2.4.5.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Koblingsskapet skal være merket på utsiden med systemleverandørens og driftsansvarligs navn og telefonnummer.

Inne i koblingsskapet skal det finnes en godt synlig oversikt over de mest vitale brytere, indikatorlamper og display som gjør en ukyndig i stand til å vurdere om koblingsskapet med sitt innhold ser ut til å være i normal drift eller ikke. Oversikten skal inneholde beskrivelse av alle sikringer i skapet og i utstyret koblingsskapet inneholder. Ved levering skal skapet inneholde komplett sett med reserve-sikringer.

Koblingsskapet skal inneholde FDV-beskrivelse som i tillegg til bruk av utstyret i skapet også skal beskrive plassering og type på alle sensorer som er overvåket med utstyret i skapet. Beskrivelsen skal gjøre det mulig å kontrollmåle analoge signaler og sammenholde med avleste eller lagrede verdier. Der hvor det finnes flere koblingsskap i én overvåkingsinstallasjon skal dokumentasjonen i hvert skap vise til alle andre skap i samme installasjon og beskrive deres funksjon. Hvert koblingsskap skal være mulig å identifisere entydig ved unik merking.

Alle kontakter og plugger og transformatorer, spenningskilder og -forsyninger i koblingsskapet skal være tydelig merket med funksjon.

2.5 Datalogger, måle- og lagringsenheter

2.5.1 Generelle krav

En overvåkingsinstallasjon består av enheter som måler, digitaliserer og lagrer data. Enhetene i overvåkingsinstallasjonen skal automatisk måle, digitalisere og lagre de ønskede signaler med ønsket hyppighet, nøyaktighet og varighet, med tilstrekkelig immunitet mot miljøets påvirkning, og uten å påvirke systemet det måles på. Det må sikres at driftsavbrudd minimaliseres og at lagrede data fortløpende blir sikret mot tap.

Installasjonen skal være operativ tidlig nok til at verdiene fra sensorene som er installert kan måles og lagres fra start. Det skal finnes en plan for oppfølging av måledata og vedlikehold.

Disse enhetene skal være CE-merket i henhold til «Forskrift om elektrisk utstyr»².

2.5.1.1 Med fjernovervåking

Hvis installasjonen fjernovervåkes, f.eks. via internett eller telefonlinje, må den kunne besørge automatisk dataoverføring for sikring av data. Data må overføres ofte nok til at betydelig datatap grunnet driftsproblemer forhindres, og ikke sjeldnere enn én gang i uken. Enheten må gi alarm hvis det oppstår driftsproblemer eller avvik ved måledata, slik at datatap av betydning forhindres.

Der hvor installasjonen er tilknyttet et lokalt TCP/IP nettverk skal kommunikasjonen i forbindelse med dataoverføring og alarm helst initieres fra selve installasjonen, kontra fra utsiden. Da reduseres risikoen for at forbindelsen hindres av sikkerhetsmekanismer som brannmur. Dataintegritet under overføringen skal sikres ved bruk av protokoll(er) med feilkorreksjon.

2.5.1.2 Uten fjernovervåking

Hvis installasjonen ikke fjernovervåkes må den ha nok lagringskapasitet til å lagre alle måledata mellom hver gang måledata hentes ut av operatør på stedet, og operatør må være på stedet ofte nok til at driftsproblemer ikke medfører betydelig datatap. Hvor ofte dette skal være må sees opp mot varighet og hensikt med overvåkingen, men det skal ikke være sjeldnere enn én gang hvert halvår.

Installasjoner uten fjernovervåking skal inneholde visuell indikasjon av at strømforsyning og driftstilstand er ok. Slike installasjoner skal lagre måledata slik at de er sikret i minst 12 måneder ved bortfall av strømforsyning. Det kan f.eks. gjøres ved batteri-backup eller ved bruk av ikke flyktig lagringsmedium, så som harddisk.

Installasjoner uten fjernovervåking skal ved driftsproblemer gi en synlig indikasjon på dette, f.eks. ved rødt lys i dør til kontrollskap.

2.5.1.3 Unngå at tilkobling av måleutstyret påvirker målingene

Når måleenheter tilkobles vil de påvirke sensorene og kretsene det skal måles på. Det er et krav at denne påvirkningen må være liten nok til at den kan ignoreres. Signalet som skal måles er vanligvis enten en elektrisk spenning, en strøm, en motstand eller en kombinasjon av disse.

Ved måling av potensial/spenning: Måleenheten kobles i parallell med kretsen det måles på og må ha en så stor indre motstand (inngangsimpedans) at strømmen som tappes fra målekretsen kan ignoreres. Eventuelle lekkstrømmer fra inngangskretsen på måleenheten må være små nok til at påvirkningen fra dem kan ignoreres. Nivået som kreves avhenger av motstanden i kretsen det måles på, men for måling med referanseelektroder i betong definerer NS-EN ISO 12696:2016 minimum 10 MΩ inngangsmotstand i måleutstyret, og det vil dekke de vanligste behov.

Ved måling av strøm: Måleenheten kobles i serie med kretsen det måles på og må ha en så lav indre motstand at spenningsfallet over den kan ignoreres. Ved måling av korrosjonsdrevne strømmer, som typisk vil være lavere enn 5 mA, skal det benyttes en null-motstands enhet ("Zero Resistance Amperemeter") der spenningsfallet over enhetens måleinngang er 0 V.

Ved måling av motstand: Ved motstandsmåling må måleenheten påtrykke et signal (strøm eller spenning) på kretsen det skal måles på. Signalet må være svakt nok til ikke å ødelegge sensoren eller forrykke

² <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2017-10-10-1598>



likevektssituasjonen i systemet det måles på, helst under 1 V rms eller 2.8 Vpp. Dersom kretsen det måles på inneholder betong, må denne anses å være en elektrolytt. Det innebærer at man må unngå å bruke likestrømsignaler til målingen da det vil polarisere systemet det måles på. Vanligvis benyttes målesignaler med frekvens 1 kHz eller 120 Hz. Frekvenser på 50 og 100 Hz skal ikke brukes for å unngå interferens med nettspenningen.

Krav om galvanisk skille: Når mer enn ett målepunkt etableres i en betongkonstruksjon oppstår det risiko for at målepunktene sammenkobles gjennom måleenhetene og dermed påvirker systemet. Når mer enn ett målepunkt skal tilkobles ett målesystem skal derfor måleenhetene være utformet slik at målepunktene er galvanisk adskilt, slik at utilsiktet sammenkobling ikke kan oppstå.

2.5.1.4 Unngå at måledata påvirkes av omgivelsenes miljø

Måleenhetene må i tilstrekkelig grad kunne undertrykke elektromagnetisk støy fra omgivelsene. Dette kan eksempelvis være 50 Hz signaler fra nærliggende strømforsyningsinstallasjoner, eller elektromagnetisk støy fra drivere til LED belysning.

Der hvor analoge målesignaler fra sensorene transporteres via kabler før de konverteres til digitale verdier, må det tas ekstra hensyn, se Kapittel 2.4.2.

Måleenhetene må være tilstrekkelig beskyttet mot overspenninger på alle innganger og på strømforsyningstilkoblinger. Krav til beskyttelse skal vise til klasse/type som angitt i relevant standard, f.eks. NEK IEC 61643-11 «Overspenningsavledere koblet til lavspente effektsystemer - Krav og prøvingsmetoder».

Feil og feilsøking

Overvåkingssystemet skal automatisk logge alle hendelser av betydning i systemet med dato og tid slik at loggen kan brukes til å finne kilden til driftsproblemer.

Alle elektroniske enheter i et digitalt, distribuert system skal ha tildelt en unik og permanent ID (serienummer) som gjør det mulig å spore eventuell ombytting eller utskifting av enheter.

2.5.1.5 Målinger og måledata, rettigheter og sikkerhet

Målehyppighet

Enkle målinger skal kunne utføres med hyppighet på minst en gang pr sekund. Sammensatte målinger som f.eks. depolarisasjonsmålinger ved katodisk beskyttelse kan ta et døgn å gjennomføre. For å begrense uheldig påvirkning på installasjonen må det være mulig å konfigurere sammensatte målinger til å bli gjennomført med intervall på minimum én måned.

Utvekslingsformat

Det skal være mulig for bruker å hente ut måledata i vanlige utvekslingsformater (som skilletegnseparerte tekstfiler og regnearkfiler) ved behov. Om ønskelig skal slik uthenting kunne automatiseres.

Struktur og innhold i filene med måledata skal være dokumentert slik at tolkning av måledata ikke vanskeliggjøres. Alle målinger skal være koblet med en entydig tidsangivelse med presisjon ett sekund eller bedre, som lagres sammen med målingene.

Rettigheter og sikkerhet

Rettighetene til bruk og forvaltning av måledata skal ligge hos eier av overvåkingsinstallasjonen. Leverandøren av datalogger, måle- og lagringsenheter skal ikke ha slike rettigheter uten at det er avklart med eier, unntatt der det er nødvendig for å gjennomføre avtalte ytelser.



Adgang til å konfigurere installasjonen og til lagrede måledata skal være passordbeskyttet, uavhengig av om installasjonen opereres lokalt eller via fjernkontroll. For sensitive data bør krav om kryptering ved overføring og/eller lagring vurderes.

Driftsavtale

Det skal etableres en plan som beskriver hvem som har ansvar for måledata, for innsamling av disse, for oppbevaring, tolkning og rapportering. Dersom det er andre aktører enn eier/bruker som står for dette bør det avklares i en driftsavtale.

2.5.2 Krav til materialer og utstyr

Alt utstyr må være egnet for lang tids plassering og bruk i aktuelt miljø. Temperatur, luftfuktighet, og aggressive kjemikalier (som salt i marint miljø) må spesielt hensyntas.

2.5.3 Krav til utførelse

Fagmessig utførelse av prosjektering og installasjon skal sikres ved bruk av personell med relevant kompetanse, for eksempel automatiker, elektriker eller ekom-montør. Relevante standarder er NEK 400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner, NEK 439 Lavspenningstavler og kanalskinnesystem, og NEK 700 Informasjonsteknologi.

2.5.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Alle enheter som er tilkoblet analoge signaler fra sensorer, og inngår i målingen av disse, skal kunne leveres med sertifikat som bekrefter sporbar kalibrering.

Ved installasjon skal kontrollmålinger med eksternt utstyr dokumentere at utstyret måler korrekt og at ikke innkoblingen av enheten påvirker målingene.

I tillegg til målesignal fra de installerte sensorer, skal det registreres et eller flere referansesignal. Referansekanalene skal demonstrere at overvåkningssystemet opererer tilfredsstillende. Det skal være minst ett referansesignal for hver type målesignal (spenning, strøm, temperatur osv.) og minst én referanse på hvert målested når målestedene ligger fysisk adskilt og/eller består av mange (f.eks. mer enn 20) målesignaler.

I tilknytning til installasjonen, f.eks. i kontrollskap, skal det finnes dokumentasjon for installasjonen som inneholder:

- Informasjon om alle sensorer og deres plassering
- Informasjon om bruk og vedlikehold
- Kontaktinformasjon til leverandør og operatør

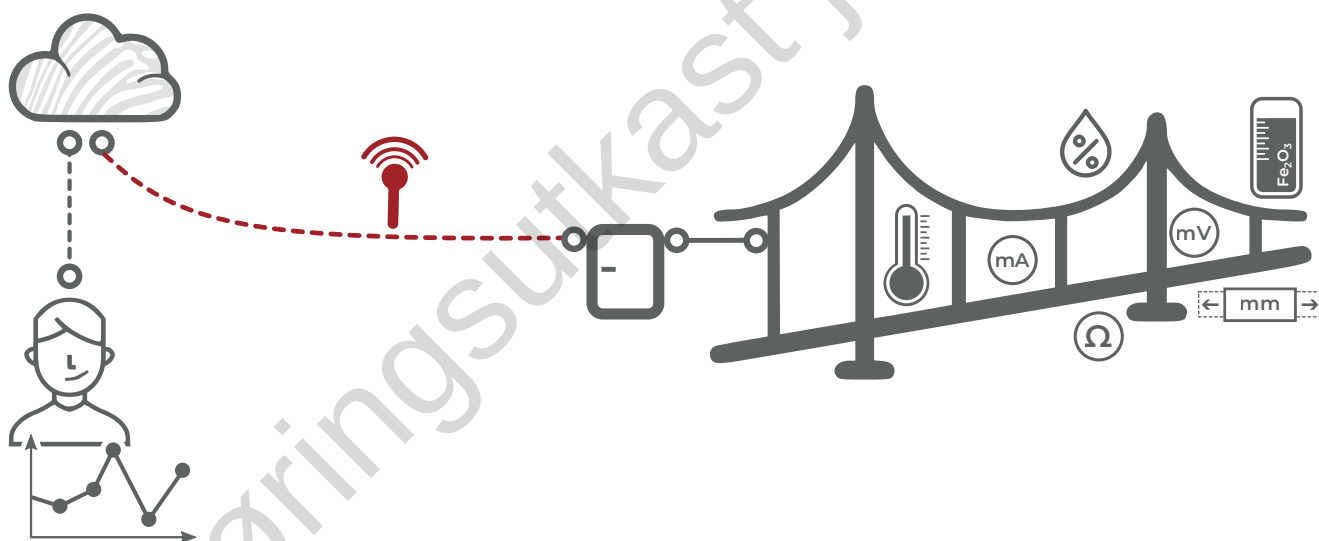
2.5.5 Toleranser

Måleenheten(e) skal måle signalet med den oppløsning og nøyaktighet som anvendelsen krever. Tabell 2.2 angir rimelige minimumskrav for de vanligste måleområder ved instrumentert overvåkning av betong.

Tabell 2.2: Minimumskrav for måleområder

	Måleområde	Oppløsning	Nøyaktighet
Spennings/potensial	$\pm 2 \text{ V}$	0,5 mV	0,1%
Strøm (null-motstandsmåling)	$\pm 0,3 \text{ mA}$	0,1 μA	0,2 μA
Motstand, lav motstand	10 k Ω	1 Ω	1 %
Motstand, middels motstand	100 k Ω	10 Ω	1 %
Motstand, høy motstand	1 M Ω	100 Ω	10 %

Høringsutkast juni 2022



Illustrasjon: Jan Eri

3

Dataoverføring og kommunikasjon

Høringsutkast juni 2022

3

3 DATAOVERFØRING OG KOMMUNIKASJON

3.1 Generelle krav

For at kompetent personell skal kunne evaluere data og oppdage avvik skal måledata fortløpende være tilgjengelig. I de fleste tilfeller tilsier det at installasjonen må ha en permanent kommunikasjonslinje, f.eks. via internett, slik at det ikke er nødvendig å reise til installasjonen for å betjene den. Risikoen for tap av data kan også reduseres betydelig ved regelmessig, automatisk overføring og sikring av data.

Kommunikasjon over internett mellom måleutstyr (betongkonstruksjon) og fjernstyringssystemet (f.eks. operatørs kontor) bør initieres av måleutstyret. Dette reduserer behov for nettverkskonfigurasjon, sammenlignet med løsninger hvor fjernstyringssystemet initierer kommunikasjonen. Denne modellen passer også godt for løpende datalagring i skytjenester og kontinuerlig backup. Skybaserte løsninger kan i tillegg gi redusert behov for komplekst utstyr (for eksempel PC) plassert ute på konstruksjonen som skal overvåkes. Betongkonstruksjoner som overvåkes kan befinne seg på steder hvor det kan være utfordrende å opprettholde stabil drift av kommunikasjonslinjer og tilhørende utstyr. Aktuelle kommunikasjonsløsninger må derfor være robuste og inkludere system for varsling av avbrudd. Kommunikasjonsutstyret må være konstruert for automatisk å gjenopprette forbindelsen når den blir brutt.

Planlegging og bestilling av kommunikasjonslinje bør gjøres minst fire uker før igangkjøring, eller tidlig nok til at kommunikasjonen er operativ ved igangkjøring av overvåkningsinstallasjonen. Planleggingen skal omfatte:

- Valg av teknologi
- Fremdriftsplan
- Avklaring av hvem som er ansvarlig for drift og vedlikehold av kommunikasjonsløsningen, både økonomisk og teknisk

Når hensikten med installasjonen er langsiktig overvåkning, skal det velges teknologi og utstyr med lang tidshorisont. Teknologier som 3G, 2G, Edge, GSM, ISDN, eller analog telefonlinje skal ikke benyttes til slik overvåkning. Eksempler på teknologier som kan vurderes (per 2021) er 4G, 5G, DSL, og fiber-nett.

Valgt teknologi og utstyr må kunne gi hensiktsmessig overføringshastighet i forhold til den mengde data som skal overføres. Størrelsesorden for månedlig datamengde kan grovt anslås ved å multiplisere antall byte pr måleverdi med antall sensorer med antall målinger i døgnet med 31 dager i måneden. For nøyaktigere informasjon må leverandør kontaktes.

Det må vurderes om det er behov for at overføring og lagring av data gjøres kryptert.

3.2 Krav til materialer

Kommunikasjonsutstyret som benyttes skal være tilpasset bruk i gjeldende miljø i forhold til korrosivitet, støv, temperatur, fukt, rystelse, og elektriske og elektromagnetiske påvirkninger. Utstyret må være beskyttet mot vandalisme/tyveri.

Der hvor det er praktisk mulig bør kablede løsninger velges framfor trådløse, av hensyn til robusthet og stabilitet. Når trådløse løsninger brukes må det kontrolleres at relevante signalstyrker er tilstrekkelig til å gi stabile forbindelser. Om nødvendig brukes antenner for å forbedre signalstyrke. Antennekabel demper signalstyrken og må derfor holdes så kort som mulig.

3.3 Krav til utførelse

Fagmessig utførelse av prosjektering og installasjon skal sikres ved bruk av personell med relevant kompetanse, for eksempel automatiker, elektriker eller ekom-montør. Relevante standarder er NEK 400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner og NEK 700 Informasjonsteknologi.

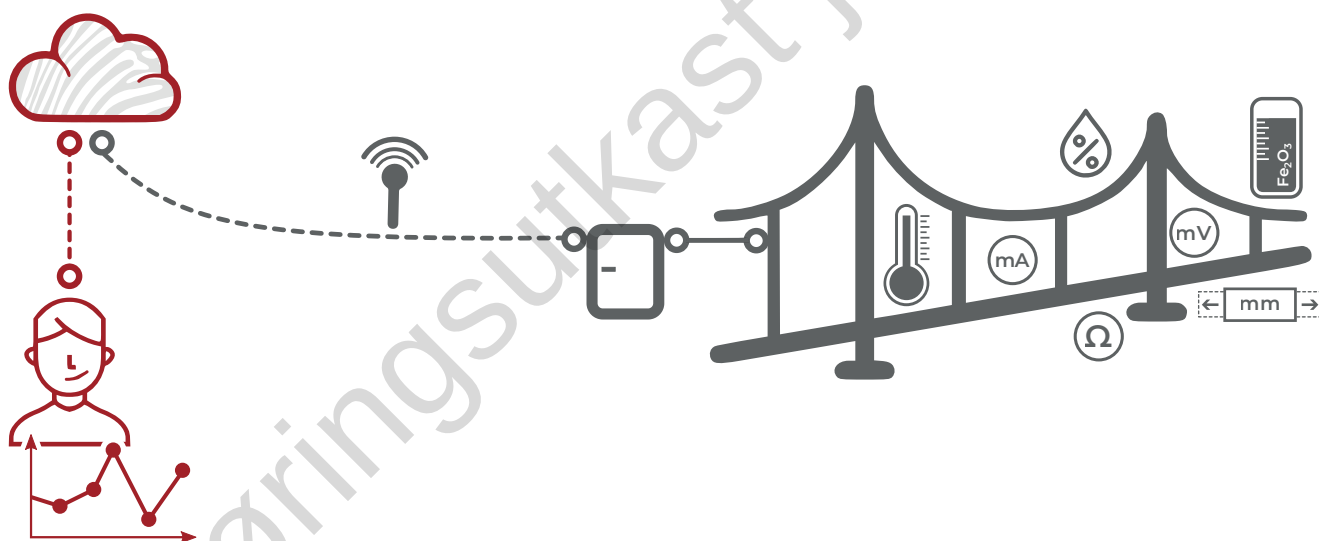
3.4 Kvalitetssikring og dokumentasjon

Funksjon og ytelse (stabilitet og overføringshastighet) skal testes og dokumenteres i forbindelse med installasjon.

3.5 Måleregler og enheter

Overføringshastighet måles i bit pr sekund (*bit/s*), ofte angitt med passende prefiks, så som *k* (kilo), *M* (mega), *G* (giga) eller *T* (tera).

Høringsutkast juni 2022



Illustrasjon: Jan Eri

4

Databehandling og programvarefunksjonalitet

Høringsutkast juni 2022

4

4 DATABEHANDLING OG PROGRAMVAREFUNKSJONALITET**4.1 Databehandling**

Hensikten med instrumentert overvåkning er å vurdere om nedbrytningsmekanismer kan påvirke levetid til betongkonstruksjoner, og vurdere når utbedringstiltak skal utføres. Databehandling har som formål å identifisere avvik i måledata som kan tyde på nedbrytning/skadeutvikling av betongkonstruksjonen. Databehandling og tolking av måledata er et eget fag som ikke er dekket i dette dokumentet. Det angis generelle retningslinjer for databehandling og presentasjon. Det anbefales at fagpersonell utfører databehandlingen og vurderingen av avvik/skadekonsekvenser.

Databehandling og tolking av måledata vurderes basert på egen erfaring og aksepterte modeller. Det anbefales sterk å gjennomføre en visuell kontroll med eventuelt prøvetaking når det vurderes avvik i måledata, slik at forholdet kan bekreftes.

Verdiene fra lagrede målinger skal være tilgjengelige i en form som gjør at de kan inspiseres og bearbeides med tredjeparts programvare, slik som regnearkprogrammer, eller annen programvare for grafisk presentasjon av data. Dette oppnås ved at måleverdiene kan eksporteres til allment tilgjengelig filformat. Slike filformater kan for eksempel være skilletegnseparerte tekstfiler, eller filer i regnearkformat, så som ISO standard ODF eller MS Excel.

I tillegg skal det opprinnelige lagringsformatet (f.eks. SQL database) være beskrevet av leverandøren slik at det er mulig for tredjepart å konvertere data til allment tilgjengelig format i tilfelle leverandørstøtte bortfaller. Dette inkluderer - som et minimum - beskrivelse av eventuell databasetype, type og leverandør av påkrevet spesialprogramvare for å lese data, tabell- og feltbeskrivelser, og hvilket tegnssett som benyttes.

Dersom data fortløpende skal behandles av tredjeparts programvare, må data være tilgjengelig via et dokumentert API³.

Det skal være sikret robust kobling mellom de lagrede måleverdiene og målingenes tidspunkt, måleenhet, plassering, sensortype, og eventuell omregning med formler. Dette kan oppnås ved at alle måletidspunkter lagres sammen med tilhørende måleverdier, og ved at en unik referanse til hvert målepunkt lagres sammen med alle måleverdier. Det skal finnes informasjon om hvilken tidssone som brukes for de lagrede tidspunktene.

Måletidspunkt skal angis med tilhørende årstall (4-sifret), måned, dag, time, minutter og sekunder. Bedre tidsoppløsning brukes når det er behov for det.

Dersom måledata bearbeides (f.eks. ved omregning med formler) skal fortsatt opprinnelig måledata lagres og holdes tilgjengelig.

Det skal være tilrettelagt for automatisk sikkerhetskopiering av måledata med hyppighet som eliminerer risiko for betydelig tap av data.

4.2 Programvarefunksjonalitet**4.2.1 Brukeradministrasjon og diagnostisering**

Adgang til måledata, og til konfigurasjon av overvåkningssystemet, skal være brukerstyrt og kreve pålogging. Når det gjøres endringer skal det automatisk registreres hva som gjøres, tidspunkt, og hvem som gjør endringen. Systemet skal automatisk loggføre aktivitet og avvik i en hendelseslogg som kan brukes ved feilsøking.

³ "Application Programming Interface": Programmeringsgrensesnitt

Det skal være mulig å sette brukerdefinerte maksimums- og minimumsgrenser for måleverdier fra alle målepunkter. Når det registreres verdier utenfor angitte grenser skal det kunne varsles i brukergrensesnitt, samt ved SMS, epost, eller push-varsler.

Brukergrensesnittet skal tydelig indikere avvik.

Under installasjon og feilsøking skal det være mulig å få sanntidsvisning av måleverdiene, helst også grafisk, slik at variasjoner kan ses fortløpende og umiddelbart.

4.2.2 Måleprogram

Det skal være mulig å opprette måleprogram der man kan bestemme hvor ofte målinger gjøres. Det skal også være mulig å definere andre valgbare parametere i tilknytning til målingene som skal gjøres, eksempelvis ved LPR-målinger (lineær polarisasjonsmotstand). Det skilles mellom to hovedkategorier målinger:

Type 1: Enkle øyeblikksmålinger uten forstyrrende påvirkning av systemet.

Eksempelvis kan dette være målinger av spenning, strøm, og temperatur som vanligvis gjennomføres på brøkdeler av et sekund, og som ikke i betydelig grad forstyrrer systemet eller belaster sensorer. For slike målinger benyttes gjerne måleintervall i størrelsesorden sekunder til dager. Hvis man ønsker å få med døgnvariasjoner i målingene bør målehyppighet være minst hver 6. time.

Type 2: Komplekse målinger, målinger som påvirker systemet.

Eksempelvis kan dette være målinger av korrosjonshastighet eller depolarisering. Hver måling kan ta fra sekunder til timer å gjennomføre. I noen tilfeller krever målingene at systemet utsettes for ytre påvirkning, eksempelvis polarisering ved påtrykt strøm eller spenning. Tidsintervallet mellom hver måling må da være langt nok til at systemets likevekt er gjenopprettet før neste måling skal utføres. For slike målinger benyttes gjerne måleintervall i størrelsesorden dager - måneder.

Dersom det skal gjøres målinger både av type 1 og type 2 kan det være behov for å kunne kjøre flere måleprogram samtidig, slik at det ene programmet eksempelvis måler hver time, mens det andre måler en gang i måneden. Det bør være mulig med minimum to samtidige måleprogrammer. Programmene må kunne samordnes dersom dette kreves for å unngå uønsket påvirkning av målingene i ett program fra målingene i et annet program.

Det skal være mulighet for omregning fra registrerte fysiske verdier til den parameter sensoren måler, eksempelvis fra elektrisk spenning til relativ fuktighet, slik at den ønskede parameteren presenteres ved rapportering.

Andre parametere som det kan være behov for å angi i et måleprogram er:

- Måleområde (måleverdiintervallet det skal måles i, eksempelvis 0-10 V)
- Frekvens på påtrykt signal, f.eks. for måling av vekselstrømsmotstand
- Amplitude, varighet, og endringsrate for påtrykte signaler som inngår i målingen, f.eks. LPR
- Permanent gruppering av sensorer med samhörighet
- Plassering på konstruksjonen som overvåkes

Det skal være mulig å fjerne og å legge til sensorer fra måleprogrammet. Det skal være mulig å videreføre eksisterende målinger med nye hardware-enheter dersom de må skiftes ut. Det innebærer at en enhet med gitt identitet/serienummer fullt ut skal kunne erstatte en annen enhet med annen identitet/serienummer.

4.2.3 Presentasjon

Det anbefales at måledata presenteres grafisk slike at både korttidsendringer og langtidsendringer skal kunne identifiseres. Korttidsendringer kan være døgnvariasjoner, mens langtidsendringer kan være initiering av korrosjon.

Det anbefales å bruke avledede SI-enheter.

Måledata skal presenteres på en objektiv måte, og beslutningstaking skal vurderes av en fagperson. Det anbefales at presentasjonen er lesbar og entydig i både svart/hvitt og fargestrykk. Det skal kunne tilpasses A4- eller A3-format ifm. rapportering.

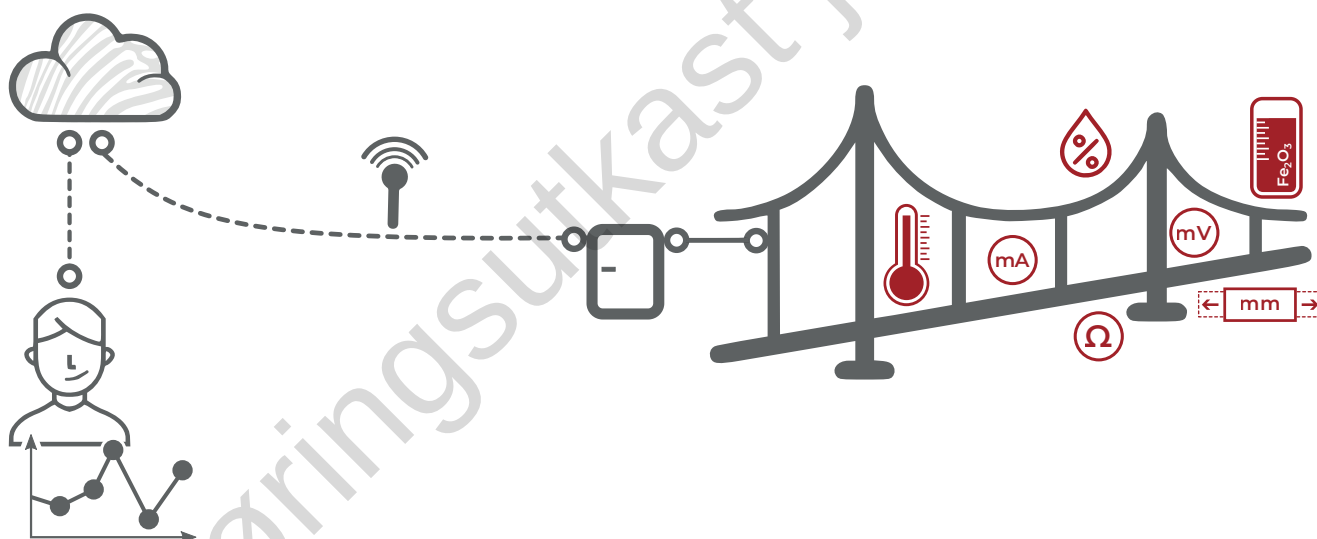
Web-basert grensesnitt mot overvåkingssystemet anbefales for å unngå problemer med installasjon av programvare på egen PC. Dersom det er behov for integrasjon mot andre overvåknings- eller drifts-systemer, bør muligheten for slik integrasjon avklares. Det kan eksempelvis skje ved hjelp av automatisert data-eksport og -import, eller ved å bruke API i de involverte systemene.

Skjermbildene skal presentere dataene på en oversiktlig måte i tillegg til at de støttes med fremstilling av grafiske figurer som inneholder:

- Oversiktsbilde
 - Konstruksjon: Det skal inkluderes en oversikt av alle sensorer. Konstruksjon kan deles i felter for oversiktighet.
 - Plassering av sensorer: Det skal beskrives hvor hver enkelt sensor er plassert nøyaktig, og hva funksjonen til sensoren er (hva som overvåkes).
 - BIM-referanser: Sensorplassering kan knyttes til BIM-modeller (Bygnings-informasjons-modellering). Det anbefales sterkt å bruke BIM-referanser når dette er mulig.
- Detaljinformasjon
 - Sensorplassering: Hver sensor må ha en unik ID som gjør det mulig å identifisere den. Plassering kan beskrives med lokasjon (f.eks. orientering), hvor sensoren er plassert (byggningsdel), og hvor den er montert (på overflaten eller innstøpt).
 - Statusindikasjon: Det anbefales å bruke en fargekode som viser om sensoren er i drift (grønn), målingen er over grenseverdi (rød), eller uten drift (svart).
- Grafisk presentasjon for rapportering
 - Måledata lagres i tabellform.
 - Det skal være mulig å velge ut sensorer som skal presenteres grafisk. Det skal vurderes:
 - Hvilke sensorer
 - Hvilket tidsrom
 - Hvilken målingstype
 - Parameter(e) som overvåkes
 - Alle figurer må inkludere:
 - Aksetittel
 - Enheter
 - Tidsrom
 - Forklaring
 - Krav til visning: Autoskalering-funksjon anbefales, men det må være mulig for bruker å sette ønsket skala.
 - Det må brukes en diagramtype som er egnet til å vise ønsket parameter.
 - Det skal vurderes hvilken diagramtype som egner seg best både for overvåkning og tolking av måledata, f.eks. stolpediagram, histogram (nyttig for store datamengder), eller boksplott.

- Måledata skal ha en fordeling som kan beskrives f.eks. med gjennomsnitt, median, kvartiler, og standardavvik.
 - Akser kan suppleres med en sekundær akse for å sammenligne/inkludere andre viktige måledata.
 - Alle forkortelser skal beskrives.
 - Alle deler av figuren skal tåle samme forminskning og være godt lesbare.
 - Det kan brukes trendlinjer for å vise forventet utvikling.
 - Når man rapporterer skal figurer ha et fortløpende nummer og figurtekst som forklarer i detalj hva figuren viser.

Høringsutkast juni 2022



Illustrasjon: Jan Eri

Vedlegg Bakgrunnsinformasjon sensorer

Høringsutkast juni 2022

VEDLEGG – BAKGRUNNSINFORMASJON SENSORER

A Innledning

I vedlegget gis det utdypende/veiledende informasjon om sensorer for overvåkning av bestandighetsparametere i betong. Formålet med vedlegget er å gi leseren en bedre bakgrunn for valg av sensorer. Det beskrives formål, måleprinsipp og anvendelsesområde for de forskjellige sensorene. Det gis også informasjon om tidsbruk for installasjon, nøyaktighet, levetid, og modenhet av teknikken. Sensortechnik er et fagfelt som er under stadig utvikling og forbedring. De anbefalinger og vurderinger som er gitt i vedlegget er basert på dagens kunnskap.

B Referanseelektroder for måling av potensial

B.1 Formål

Referanseelektroder innstøpt i betong benyttes til:

Måling av korrosjonspotensial til armering

Lave potensialverdier indikerer økt sannsynlighet for pågående korrosjonsaktivitet på ståloverflaten. Retningslinjer for tolkning av verdier er gitt i standarder [f.eks. ASTM C 876 og ASTM STP 1065].

Måling av potensialet til en innstøpt sensor for måling av korrosivitet, pH og klorid

Typiske bruksområder er ved polarisasjonsmålinger for estimering av armeringens korrosjonshastighet, eller ved potensialovervåkning av innstøpte stålprøver med ulik overdekning. Referanseelektroder blir noen ganger også benyttet til måling av korrosive betongparametere som pH og kloridinnhold.

B.2 Prinsipp

Referanseelektroder benyttes til å måle elektrokjemisk potensial (symbolbetegnelse E). Potensialet er et mål for energien eller drivkraften i en elektrokjemisk reaksjon, og har enheten *volt* ($1V=1J/Cs$ i SI-enheter).

Potensialmålingen består i å bestemme den elektriske spenningsforskjellen mellom armeringsstålet (eller sensoren) og en referanseelektrode, det vil si en elektrode med et kjent og stabilt egenpotensial. Referanseelektroden må være plassert i samme type elektrolytt (eller betong) som måleobjektet (armering eller sensor). Dette samsvarer med kravet om innstøpingsmørtel (se Kapittel 2.5).

Potensialverdier og fortegn

Den målte spenningsforskjellen mellom stålet/sensoren og referanseelektroden avhenger av hvilken type referanseelektrode som benyttes. Derfor må korrosjonspotensialet alltid oppgis i forhold til hvilken referanseelektrode som ble benyttet under målingen.

Siden elektrodepotensialer kan være positive eller negative, må fortegnet til potensialverdien alltid oppgis ved rapportering og tolkning av potensialverdier.

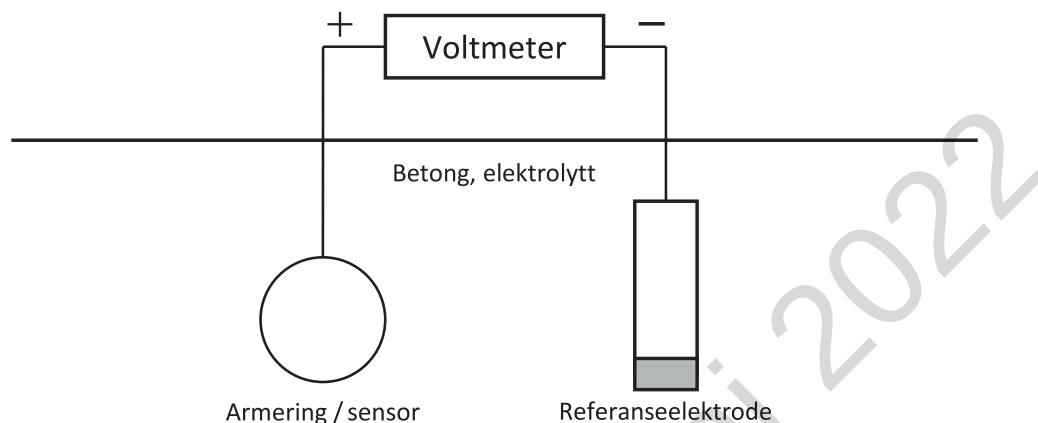
Måleutstyr

For å kunne måle det elektrokjemiske potensialet til stålarmoring i betong trengs:

- Referanseelektrode
- Voltmeter med høy indre motstand
- Elektriske kabler fra armeringen og referanseelektroden til voltmeteret

Voltmeteret må ha høy indre motstand ($\geq 10^6$ ohm) for at det ikke skal gå forstyrrende elektriske strømmer i målekretsen under måling.

To målekabler skal kobles til voltmeteret, én fra armeringskontakten og én fra referanseelektroden. Under selve målingen må man påse at målekablene kobles i rett inngang på voltmeteret. I henhold til internasjonal konvensjon skal referanseelektroden kobles til jordingsinngangen (minus) på voltmeteret, ofte kalt 'COM' på et multimeter, og kabelen fra armering til den positive inngangen, ofte kalt 'V,Ω' på multimeteret. Måleoppsettet er illustrert skjematisk i Figur B-1.



Figur B-1: Skjematisk illustrasjon av måling av korrosjonspotensialet til armeringsstål (eller innstøpt sensor) ved hjelp av en innstøpt referanseelektrode og et voltmeter.

Referanseelektrodematerialer

Det finnes en rekke typer elektrodematerialer som benyttes som referanseelektroder i betong. Noen faller inn under kategorien "ideell referanseelektrode" i elektrokjemisk betydning, mens andre kun består av et materialstykke (metallbit eller annet material) som støpes inn i betongen [Myrdal 2006]. Flere av de "ideelle referanseelektrodene" egner seg ikke til innstøping i betong, hovedsakelig på grunn av mangel på robusthet i et slikt miljø, innhold av miljøgifter, eller høy pris.

MMO

MMO (mixed metal oxides) er en fellesbetegnelse på elektroder der den elektrokjemisk aktive delen består av titan (stav/tråd/nett) som er belagt med metalloksider av platinametaller (og ofte kobolt). Dette er samme type material som ofte benyttes som anode ved katodisk beskyttelse med påtrykt strøm. Siden disse metalloksidene normalt er gode elektrokatalysatorer for oksygenreduksjon, skulle man forvente at det elektrokjemiske potensialet til MMO er følsomt for oksygenkonsentrasjon og pH (slik som for karbonmaterialer). Laboratorieundersøkelser har imidlertid vist mangel på oksygenfølsomhet, men betydelig pH-avhengighet.

Kommersielle MMO-elektroder er ofte innstøpt i en liten mørtelsylinder. Dette sikrer en robust referanseelektrode med god elektrisk kontakt til omsluttende betong etter innstøping. MMO-elektroder anses å være spesielt egnet for kortvarige potensialmålinger (for eksempel ved kontroll av katodiske anlegg). Det er usikkert om disse elektrodene egner seg for langtidsovervåkning.

MnO₂

Referanseelektrode basert på MnO₂ er spesialdesignet for innstøping i betong.

Det elektrokjemiske egenpotensialet er gitt av elektrokjemien til mangandioksid (MnO₂) i alkalisk miljø (NaOH-løsning med pH=13,5). MnO₂ er ikke en "ideell referanseelektrode" i streng elektrokjemisk betydning, men elektroden benyttes over store deler av verden, og har vist seg å være stabil over lang tid.

MnO_2 er sylindrerformet. Elektroden er designet slik at det indre kammeret med mangandioksid og elektrolytt (NaOH) holdes skilt fra omgivelsene med en porøs sementplugg. Pluggen sikrer god elektrisk (ionisk) kontakt med betongen eller mørtelen.

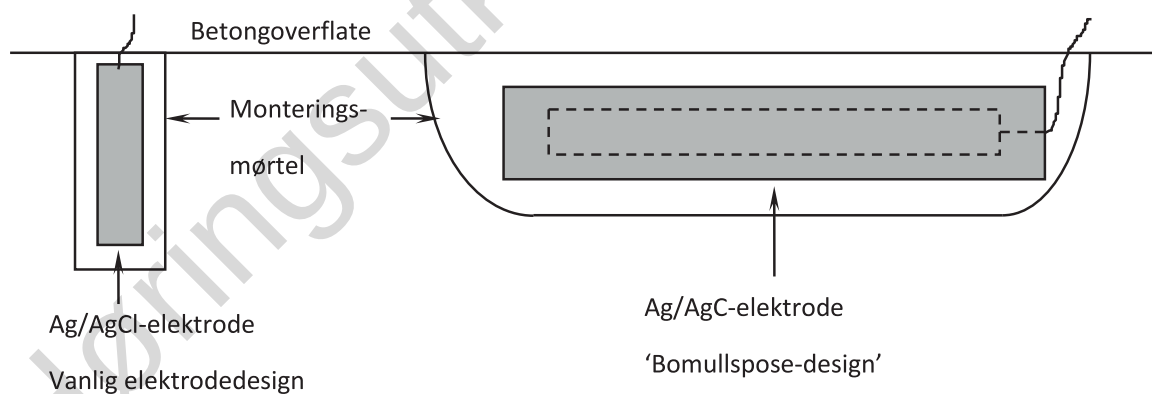
Potensialet til MnO_2 , målt i en mettet løsning av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ved 25°C , er ca. +150 mV mot mettet kalomel-elektrode (SCE). MnO_2 er noe følsom for endring i pH. Potensialet øker ca 30 mV når pH avtar én pH-enhet (for eksempel fra 13 til 12). I normal betong er denne pH-følsomheten av liten betydning, men karbonatisering av betongen (senkning av pH) vil påvirke elektrodepotensialet.

Ag/AgCl

Sølv/sølvklorid-elektroder med kaliumklorid (KCl) som indre elektrolytt ($\text{Ag}/\text{AgCl}/\text{KCl}$) blir benyttet i stor grad i laboratorier og i felt. Det er spesialdesignet to hovedtyper for betongformål. En er bygget opp med et sylindrerformet elektrodehus som inneholder $\text{Ag}/\text{AgCl}/\text{KCl}$, og en porøs plugg som danner overgangen mellom indre elektrolytt og ytre miljø (betong). Den indre elektrolytten er ofte i gel-form og inneholder antiuttørkingsstoff for å hindre uttørking og kontaktproblemer. Disse elektrodene varierer i lengde og diameter. Lengden kan være fra omkring 50 mm til 140 mm med diameter fra ca 10 mm til 25 mm. Forventet levetid er fra 10 år til mer enn 50 år. Utforming og design av disse elektrodene har i noen tilfeller ført til kontaktproblemer med innstøpingsmørtelen. Det er derfor vanlig å støpe elektroden inn i mørtel (sylindrerformet) på forhånd, for deretter å installere denne i betongen.

Det finnes også en annen, og mye større, Ag/AgCl -elektrode på markedet (særlig det amerikanske). Elektroden er innpakket i en bomullspose som inneholder såkalt 'backfill' - et system som skal sikre god ionisk/elektrisk kontakt og mekanisk heft til innstøpingsmørtel eller betong. Posen er ca 160 mm lang og 40 mm i diameter. Elektroden er veldokumentert og designet for 15 års levetid.

De to hovedtypene Ag/AgCl -elektroder skiller seg også i måten de installeres på i eksisterende konstruksjoner, slik som vist Figur B-2.



Figur B-2: To hovedtyper Ag/AgCl -elektroder installert i eksisterende betongkonstruksjon.

Det er viktig å være klar over at Ag/AgCl -elektroder kan inneholde varierende konsentrasjon av KCl; fra 0,1 M løsning til mettet løsning. Elektrodepotensialet til en Ag/AgCl -elektrode er avhengig av hvilken konsentrasjon KCl som er benyttet. Potensialene varierer slik som vist i Tabell B-1. Det er viktig å være klar over slike variasjoner når man tolker potensialer målt med denne typen referanselektrode.

Tabell B-1: Elektrodepotensialet til Ag/AgCl/KCl målt mot standard hydrogenelektrode (SHE) ved 25 °C

Konsentrasjon av KCl	mV vs SHE
4.16 M (mettet løsning)	+199
4.0 M	+200
1.0 M	+235
0.6 M (sjøvann)	+250
0.1 M	+288

Bly

En blyelektrode består av en tynn metallisk stav/bit av rent bly (Pb), som etter installering er i direkte kontakt med mørtel eller betong. Elektroden inneholder ingen indre elektrolytt (slik som MnO₂ og Ag/AgCl). De er enkle å produsere, men deres egenpotensial er i stor grad avhengig av det miljø (betong) de er plassert. Potensialet skapes av korrosjonsreaksjoner, og elektroden vil gradvis tæres som følge av dette. Dette kan på sikt skape kontaktproblemer. Det finnes kommersielle blyelektroder der blystaven er montert i et kort PVC-rør fylt med epoksy, men brukbare blyelektroder kan lages av en korrosjonsteknolog.

Potensialet til bly i vann varierer med pH og oppløst oksygen i vannet. Tester i syntetisk betongporevann har vist at et fall i pH med én pH-enhet (for eksempel fra 13 til 12) øker potensialet med ca 55 mV. Oksygenfølsomheten synes å være mindre. Tabell B-2 viser oksygen- og pH-følsomheten til bly sammenlignet med tilsvarende følsomhet for grafitt (omtales nedenfor). Potensialet til bly i normale (ikke-karbonatiserte) betongheller rapporteres [Myrdal 2006] å være omkring -640 mV, -700±40 mV og fra -740 til -710 mV målt mot mettet kalomelektrode (SCE).

Grafitt

Grafittlektroder har vært benyttet som referanseelektroder i betong i en årrekke verden over. De har, i likhet med blyelektroder, en enkel oppbygging og kan produseres av en korrosjonsteknolog. Det eksisterer en lang rekke kommersielle varianter. Grafittlektroder korroderer ikke i alkalisk miljø (slik blyelektroder gjør). Siden karbonmaterialer er elektrokatalysatorer for oksygenreduksjon ($O_2 \rightarrow OH^-$), vil elektrodepotensialet variere med oksygeninnholdet i det miljøet elektroden er plassert. Grafittlektroder er også følsomme for endringer i pH. Graden av følsomhet for oksygen og pH vil variere fra en karbontype til en annen. Grafitt og karbon av ulik opprinnelse og kvalitet gir noe ulikt egenpotensial i alkalisk miljø. Tabell B-2 viser et eksempel på pH- og oksygenfølsomhet til grafitt. Tilsvarende følsomhet for bly er tatt med for sammenligning.

Tabell B-2: Oksygen- og pH-følsomhet til grafitt og bly
(Omtrentlige verdier målt i syntetisk betongporevann)

Følsomhetsparameter *	Grafitt	Bly
dE / dpH	-40 mV	-55 mV
dE / dlogP _{O₂}	+115 mV	+25 mV

* E = potensial, P_{O₂} = partialtrykk til oksygen

Verdien dE/dlogP_{O₂} = +115 mV indikerer at en 'oksygenmangel' i betong der oksygenets partialtrykk reduseres fra 0,2 bar (luft) til 0,1 bar, vil senke grafittpotensialet med omkring 35 mV. Det rapporteres at potensialet til grafitt i 'normal' betong er i området -40 mV til -130 mV vs. SCE.

Andre referanseelektroder

Det finnes en rekke elektrodematerialer som er forsøkt benyttet som referanseelektroder i betong, men som aldri har fått stor utbredelse. Nedenfor gis det en kort oversikt over de mest vanlige, samt en redegjørelse for hvorfor slike elektroder ikke egner seg til betongformål.

Kobber/kobbersulfat (Cu/CuSO₄)

Denne elektrodetypen benyttes mest til måling på betongoverflater og i jord. Det finnes kommersielle Cu/CuSO₄-elektroder for innstøping i betong, men permanent installasjon i betong anbefales ikke. Grunnen til dette er mulige kjemiske reaksjoner i den porøse pluggen som skiller elektrodens egen elektrolytt (CuSO₄) fra betong/mørtel. Slike reaksjoner kan lett danne uløselige kjemiske forbindelser som etter hvert tetter pluggen. Cu²⁺-ioner fra elektrodens elektrolytt vil danne uløselige salter med OH⁻ (fra betong) og CO₃²⁻ (karbonat i karbonatisert betong). Ca²⁺-ioner fra betongporevannet vil danne uløselig salt med sulfat (SO₄²⁻) fra elektrodens elektrolytt. Utfellingen av disse forbindelsene i den porøse pluggen vil etter hvert lede til dannelse av en semipermeabel membran, som kan skape forstyrrende potensialbidrag, og etter lang tid vil porene i pluggen tettes helt. Det må derfor forventes stor drift i potensialet til slike elektroder i betong.

Molybden / molybdenoksid (Mo/MoO₃)

Elektroden består av molybdentråd (eller stav) som har blitt oksidert i smeltet kaliumnitrat, og deretter loddet fast til en isolert kobbertråd. Koblingspunktet er vanligvis forseglet med epoksy eller silikonmasse. Mo/MoO₃-elektroder ble utviklet til bruk som referanseelektroder i sterkt alkaliske miljøer allerede i 1967. Det er rapportert to års stabilitet i betong. Potensialet til Mo/MoO₃ i betong oppgis å være omkring -450 mV vs. SCE. Feltefaring er ikke dokumentert.

Kvikksølv / kvikksølvoksid (Hg/HgO)

Denne elektrodetypen har vært mye brukt i sterkt alkaliske løsninger. Det største bruksområdet er pH-måling i slike løsninger. Elektroden er svært nøyaktig og stabil med et termodynamisk reversibelt potensial. I mettet Ca(OH)₂ løsning (pH=12,5) ved 25 °C er potensialet -52 mV vs. SCE. Elektroden består av en platinatråd i kontakt med en pasta av flytende kvikksølv og HgO-pulver. Som indre elektrolytt benyttes en sterkt alkalisk løsning.

Det er rapportert kun seks måneders stabilitet for Hg/HgO-elektroder i betong, sannsynligvis på grunn av uttørring av indre elektrolytt. Det er gjort forsøk på å spesialdesigner en slik elektrode til betongformål, men elektroden har ikke slått an. Selv om man skulle lykkes, knytter det seg to ulemper til en slik elektrode: (1) høy pris, og (2) bruk av kvikksølv frarådes av miljøhensyn.

Potensialskalaen

Potensialet til standard hydrogenelektrode (SHE) er ved internasjonal konvensjon definert som 0 V, det vil si 'nullpunktet' på den elektrokjemiske potensialskalaen. Andre elektrodepotensialer er mer positive eller mer negative enn SHE Tabell B-3.

Tabell B-3: Elektrokjemisk potensial til referanseelektroder

Referanseelektrode	Potensial, mV vs SHE
Sølv/sølvklorid, Ag/AgCl(mettet KCl)	+199
Mettet kalomelektrode, SCE	+244
Kobber/kobbersulfat, Cu/CuSO ₄	+318
Mangandioksid, MnO ₂	+395
Mixed metal oxide, MMO	– (100 ± 20)*
Grafit, C	– (100 ± 20)*
Bly, Pb	– (700 ± 20)*

* Omtrentlige verdier i betong.

Siden alle referanseelektroder har et gitt potensial i forhold til SHE, kan et målt potensial med én type referanseelektrode lett omregnes til potensialet i forhold til en annen type referanseelektrode, slik eksemplet i Figur B-3 viser.

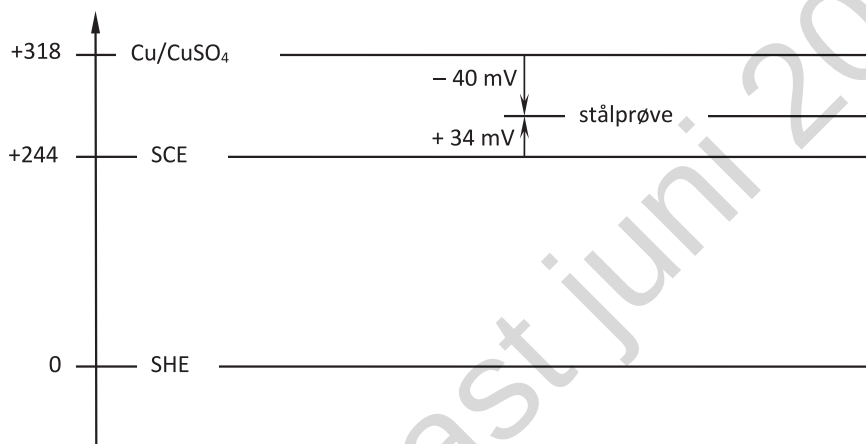
Eksempel

Potensialet til stål i en vannløsning ved 25°C ble målt med referanseelektroden SCE, og funnet å være + 34 mV. Hva ville stålpotensialet være dersom man hadde målt med referanseelektroden kobber/kobbersulfat (Cu/CuSO₄)?

Svar:

$$\begin{aligned}
 E(\text{stål vs Cu/CuSO}_4) &+ E(\text{Cu/CuSO}_4 \text{ vs SHE}) &= &E(\text{stål vs SCE}) + E(\text{SCE vs SHE}) \\
 \text{beregnet} &\text{konstant} &&\text{Målt} &\text{konstant} \\
 &+ 318 \text{ mV} &&+ 34 \text{ mV} &+ 244 \text{ mV} \\
 E(\text{stål vs Cu/CuSO}_4) &= &(+34 + 244 - 318) \text{ mV} \\
 &= &\underline{-40 \text{ mV}}
 \end{aligned}$$

Potensial vs SHE / mV



Figur B-3: Den elektrokjemiske potensialskaalen og konvertering av elektrodepotensialer fra en referanseelektrode til en annen ved 25 °C. Potensialverdiene på den vertikale aksene viser potensialene til Cu/CuSO₄ og SCE i forhold til SHE.

B.3 Anvendelsesområde

Referanseelektroder kan installeres under nybygging, eller i eksisterende konstruksjoner. Plassering av elektrodene og krav til elektrodekvalitet avhenger av formålet med installasjonen.

Lokal begrensning

Målte potensialverdier skal kun benyttes til å tolke den elektrokjemiske tilstanden til armeringen lokalt (nær referanseelektroden). Innstøpte referanseelektroder bør derfor plasseres i områder som funksjonelt er viktige for konstruksjonen og/eller i områder hvor det forventes sterkest korrosiv belastning.

Referanseelektrodens stabilitet over tid

Kravet til referanseelektrodens tidsstabilitet skal sammenfalle med måleperioden:

- Ved langtidsovervåkning (over flere år) av korrosjonspotensialet skal det benyttes referanseelektroder med dokumentert stabilitet over lang brukstid.
- Referanseelektroder som skal benyttes til kortvarig styring/måling av det elektrokjemiske potensialet til armering eller innstøpt sensor ved andre elektrokjemiske teknikker (f.eks. måling av LPR), og referanseelektroder som skal benyttes til drift av katodisk beskyttelsesanlegg med påtrykt strøm skal være stabile i den perioden målingen pågår.

Hovedkarakteristikkene til referanseelektroder for innstøping i betong er sammenfattet Tabell B-4.

Tabell B-4: Karakteristika til referanseelektroder for innstøping i betong [Myrdal 2006]

Elektrode-type	Indre elektrolytt	pH-følsomhet	Oksygen-følsomhet	Potensial i betong (mV vs. SCE)	Graden av feltbruk	Egnet bruksområde *)
MnO ₂	NaOH	Middels dE/dpH ~ -30mV	Ingen	+ 150	Svært vanlig	L, K
Ag/AgCl	KCl	Ingen	Ingen	+ 199 (mettet KCl)	Svært vanlig/ vanlig	L, K
MMO	Ingen	Høy	Ingen (lav)	Ca. - 100	Vanlig	(L), K
Grafitt	Ingen	Middels/høy dE/dpH ~ -40mV	Høy	Ca. - 100	Vanlig tidligere	(L), K
Bly	Ingen	Høy dE/dpH ~ -55mV	Lav	Ca. - 700	Sjelden	K
Cu/CuSO ₄	CuSO ₄	Ingen	Ingen	+ 316	Svært sjelden	Ingen
Mo/MoO ₃	Ingen	Høy	Ingen (lav)	Ca. - 450	Svært sjelden	Ingen
Hg/HgO	NaOH	Høy	Ingen	Ca. - 50	Svært sjelden	Ingen

*) L=langtidsovervåkning, K=kortidsmåling og styring av katodisk beskyttelsesanlegg.

B.4 Tidsbruk for installasjon

Referanseelektroder som installeres i nye konstruksjoner under byggefasen krever normalt ikke ekstra rigging til utføring av installasjonen. Tidsbruken for montering av referanseelektroden og dens tilkoblinger vil da være forholdsvis liten.

For installasjon i eksisterende konstruksjoner er det ofte behov for rigging i form lift og/eller stillas for adkomst til monteringsstedet. Man ønsker vanligvis å installere elektroden i områder utsatt for korrosjonsrisiko, eksempelvis i en brusøyle.

B.5 Nøyaktighet og behov for kalibrering

Nøyaktighet

Potensialverdien til et måleobjekt (armering eller annen elektrode) innstøpt i betong – målt med en referanseelektrode – skal ikke tolkes som en eksakt verdi for tilstanden til måleobjektet over tid. Det er flere faktorer som påvirker måleverdien. Ved langtidsovervåkning av korrosjonspotensial skal verdien benyttes til å fastsette gjenstandens sannsynlige/omtrentlige tilstand. Eksempelvis vil et målt korrosjonspotensial på -218,7 mV normalt kunne omtales som -220 mV ± 10 mV. Ved korttidsmålinger derimot (eksempelvis polarisasjonsmåling, Kapittel 2.2.3), må elektroden være stabil i den tiden målingen pågår (minutter).

Kontroll / kalibrering

Alle referanseelektroder skal kontrolleres/kalibreres før installering. (Dette er en kvalitetskontroll som vil luke ut eventuelle elektroder som ikke fungerer pga. defekt elektrode, brudd på ledning o.l.). Egen kalibreringsverdi skal sammenlignes med leverandørens kalibreringssertifikat. Slikt sertifikat skal kreves ved kjøp av referanseelektroder. Ved eventuell uoverensstemmelse mellom egen og leverandørens

kalibreringsverdi, bør ikke referanseelektroden benyttes før uoverensstemmelsen er avklart med leverandøren. Leverandøren bør kunne dokumentere at reproduserbarheten til referanseelektroden er innenfor ± 20 mV.

Temperaturfølsomhet

Leverandøren bør, dersom kjøper ber om det, også kunne gi informasjon om referanseelektrodens temperaturfølsomhet. Normalt er slik følsomhet ikke av stor betydning, men ved store temperatursvingninger kan referanseelektrodens egenpotensial forskyve seg noe. Dersom temperaturfølsomheten er kjent, kan man korrigere for denne ved tolkning av elektrokjemiske potensialer.

Monteringsbeskrivelse

Ved kjøp av referanseelektroder til innstøping i betong skal det alltid følge med en monteringsbeskrivelse som viser hvordan elektroden skal monteres i ny eller eksisterende konstruksjon.

Installeringen skal i minst mulig grad forstyrre miljøet (betongen) omkring referanseelektroden. Der det er praktisk mulig skal betongoverdekningen i måleområdet ikke skades/gjennomhulles.

Innstøpingsmørtel

Ved installasjon i eksisterende konstruksjoner skal det benyttes en innstøpingsmørtel med lavt svinn og som har egenskaper i herdnet tilstand som er mest mulig lik eksisterende betong. Dette gjelder spesielt porøsitet, pH og elektrisk ledningsevne. For øvrig skal man følge anvisningene fra elektrodeleverandøren.

Armeringskontakt

Ved armeringsovervåkning skal armeringskontakten etableres minst 100 mm til side for referanseelektroden. Kontakten skal forsegles (gjøres vanntett) for å unngå elektrokjemisk aktivitet i kontaktpunktet.

Kabling

Elektrisk kabling av referanseelektroden må være kompatibel med referanseelektroden. All kabling mot referanseelektrode og armeringskontakt skal være isolert med et ikke-ledende material som er bestandig i alkalisk miljø.

B.6 Levetid

Leverandøren må kunne dokumentere at referanseelektroden er stabil i betong for en gitt tidsperiode. Normalt vil dette være flere år.

B.7 Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)

Referanseelektroder har vært benyttet til korrosjonsovervåkning i flere tiår. På 1980-tallet ble det utviklet referanseelektroder for innstøping i betong. Siden har disse blitt forbedret og er i dag godt dokumentert. Dette gjelder primært typene MnO_2 (to leverandører) og Ag/AgCl (to til tre leverandører).

B.8 Referanser

R Myrdal, *The Electrochemistry and Characteristics of Embeddable Reference Electrodes for Concrete*, EFC Series No. 43, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 2006, ISBN 1 84569 234 9.

ASTM C 876, *Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*.

ASTM STP 1065, *Corrosion Rates of Steel in Concrete*.

C Sensorer for måling av elektrisk motstand i betong

C.1 Formål

Bakgrunnen for korrosjon av armering i betong er betongs evne til å lede strøm. Betongen virker som en elektrolytt, og gir mulighet for en lokal strømtransport. Denne egenskapen muliggjør korrosjon på armering, men følgelig også instrumentering og overvåkning.

C.2 Prinsipp

Relasjonen mellom elektrisk ledningsevne og elektrisk motstand er gitt ved velkjente fysiske lover ($U=R \times I$), og medfører at høy elektrisk motstand i betongen gir redusert ledningsevne, og omvendt. Det finnes ulike måter å måle betongens elektriske motstand på, både når det gjelder valg av sensor (målemateriale), og når det gjelder plassering av sensorene. Når den elektriske motstanden er målt, kan denne verdien benyttes til å beregne betongens resistivitet (spesifikk elektrisk motstand).

To elektrode oppsett (med bolter)

Metoden baseres på at to bolter av egnet materiale monteres med en gitt avstand og dybde i betongoverdekningen. Boltene må isoleres fra armering, og bør plasseres på steder med lite armeringsmengde. Videre er det viktig at boltene isoleres i endene for å unngå uønskede sidemålinger. Motstanden måles deretter mellom boltparet.

Resistiviteten (ρ) i betongen beregnes utfra [Carassiti 1992]:

$$\rho = (h \cdot U / I) / \ln[(a - d/2) / (d/2)]$$

hvor

ρ = resistivitet

h = lengden på elektrodene

U/I = målt motstand

a = avstand mellom elektrodene

d = diameter på elektrodene

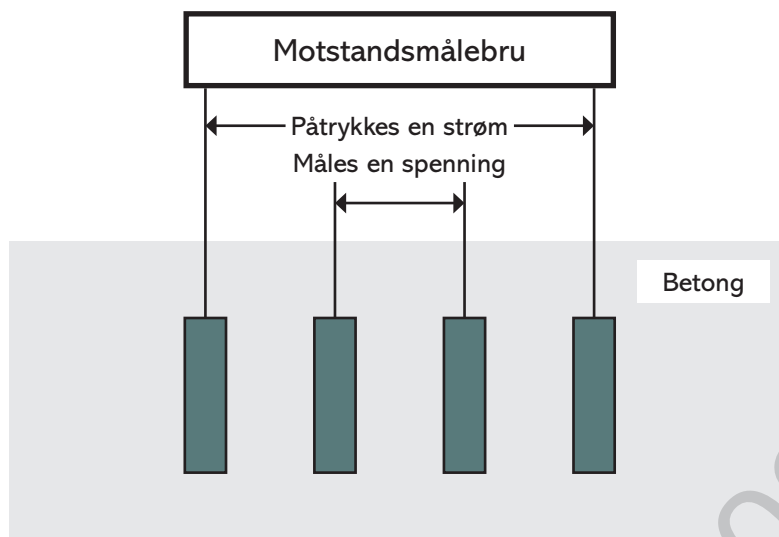
Det kan benyttes bolter i rustfritt stål og en praktisk oppsett kan være diameter 16, eksponert lengde er 40 mm, lysåpning 50 mm.

Fire elektrode oppsett (Wenner teknikk)

Denne sensoren består av fire stålbolter som monteres i betongoverdekningen (Figur C-1). Sensoren har innbyrdes lik avstand mellom boltene som ligger på linje. Avstanden mellom boltene er normalt noen cm, og må overstige D_{maks} for tilslaget i betongen.

Motstanden mellom de to innerste boltene blir beregnet ut fra målt spenning mellom disse når vekselstrøm sendes mellom de to ytterste boltene.

En vesentlig prinsippforskjell mellom denne typen måling og en to elektrode oppsett med bolter, er at den udefinerbare motstanden i overgangssonen stål-mørtel-betong **ikke** registreres. Dette gjør at disse målingene gir et bedre bilde av endringer i betongens motstand.



Figur C-1: Wenner-prinsipp [Vegdirektoratet 86-1998]

Den teoretiske sammenhengen mellom målt elektrisk motstand (R) og betongens spesifikke motstand (ρ) er gitt ved [Polder 2001]:

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

hvor

a = avstanden mellom elektrodene

$$R = \Delta U / I$$

ΔU = spenningsforskjell

I = strøm

Uttrykket gjelder for en ideell situasjon med et uendelig betongvolum og uten påvirkning fra nærliggende armering.

Ledende belegg

Prinsippet med denne sensoren er to parallelle striper med ledende belegg som påføres betongoverflaten med en avstand på noen cm. Motstanden som måles vil representere motstanden i overflatesjiktet av betongen, og skiller seg dermed fra de andre metodene.

Kommersielle sensorer

Det finnes ulike kommersielle sensorer som kan måle motstand i tillegg til andre parametere.

Disse er ikke gjengitt her, og det henvises til følgende andre kapitler i publikasjonen for utfyllende informasjon (kapittel E)

C.3 Anvendelsesområde

Målinger av motstand brukes som oftest til å detektere endring over tid, samt effekt av f.eks. overflatebehandling eller andre reparasjons- og vedlikeholdstiltak.

Dette skyldes at betongens evne til å lede strøm avhenger av flere faktorer – og det er endringer i disse som vil kunne detekteres ved motstandsmålinger.

Det er hensiktsmessig kategorisere disse som endringer i faste og variable parametere.

De faste parameterne er faktorer som stammer fra betongens sammensetning og støpetidspunkt. Disse faktorene er ideelt sett identiske for en gitt konstruksjonsdel.

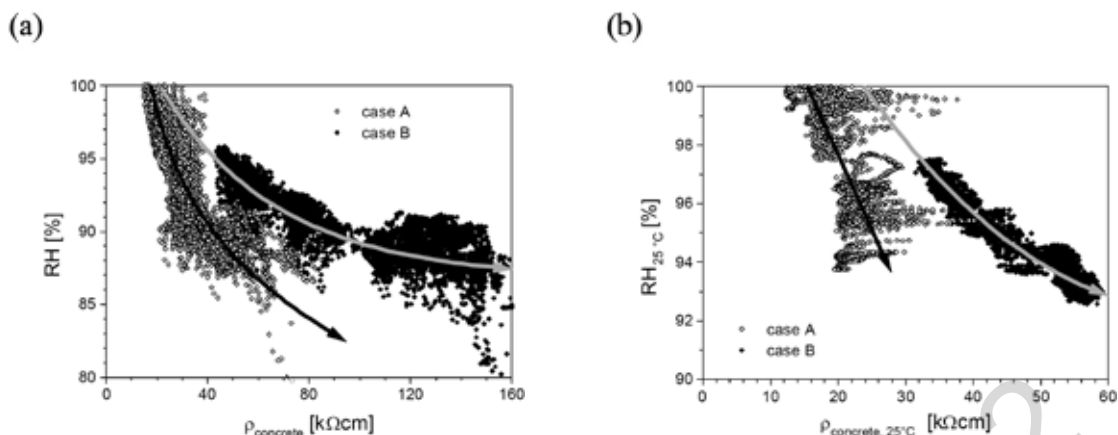
- *Forhold pasta/tilslag*
Generelt vil økt mengde pasta redusere motstand i betongen.
- *Type bindemiddel/sement*
Dette kan illustreres ved bruk av f.eks. slaggsement i stedet for portlandsement.
- *Silika*
Dersom det brukes en tilsetning av silika til en standard portlandsement, vil dette føre til økt elektrisk motstand i betongen.
- *Porøsitet og porestruktur*
Økt porestruktur og porøsitet vil øke vannmetningsgraden i et fuktig miljø.
- *Innhold av tilsetningsstoffer (f.eks. P eller SP)*
Ulike bruk av P- og SP-stoffer vil kunne endre betongens elektriske motstand.

De variable parameterne er et resultat av de kjemiske og fysiske påvirkningene betongen utsettes for. Dette er faktorer som vil endres over tid; enten permanent eller som vil fluktuere med miljøpåvirkningen.

- *Vannmetningsgrad (fuktinnhold)*
Fuktinnholdet i betongen har stor effekt på den elektriske motstanden til betongen. Økt fuktinnhold fører til økt ledningsevne, men på bakgrunn av det store antallet parametere er det vanskelig å finne generell korrelasjon mellom fuktinnhold og elektrisk motstand.

Det er utført laboratorieforsøk [Polder 2001] som viser, med utgangspunkt fukttilstanden i en brubetong, at motstanden endres med ca. 6 % pr. % endring i kapillær vannmetning.

- *Porevannets kjemi (oppløste ioner)*
Generelt vil et økt innhold av oppløste ioner i porevannet føre til redusert motstand i betongen. Dette er en variabel som kan tenkes å endres over tid da både tilførsel og utvasking av ioner over tid vil kunne endre den elektriske motstanden.
- *Kloridinnhold*
Dette er relatert til oppløste ioner i porevannet, men vurderes særskilt på bakgrunn av at kloridinnhold er enklere dokumenterbart enn oppløste ioner i porevannet. Laboratorieforsøk [Vegdirektoratet 86-1998] viser at motstanden reduseres med 30 – 50 % dersom porevannet byttes med 3 % NaCl –løsning. Disse resultatene er i overensstemmelse med feltforsøk [Pruckner 2002] utført på betong med og uten klorider. Undersøkelsene viser at en betong uten klorider med en økning av RF fra 85 til 100 % reduserer motstanden med en faktor 3. For betong med klorider er denne faktoren 8 under samme betingelser (Figur C-2).



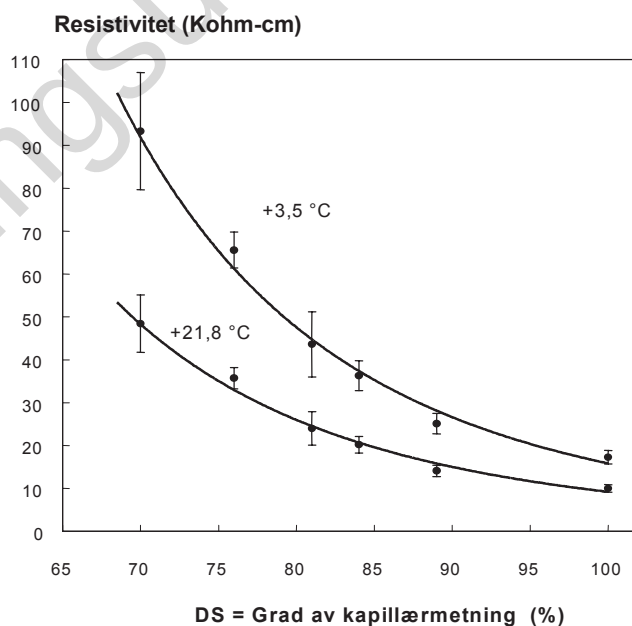
Figur C-2: Korrelasjon mellom RF- og r -målinger i betong. (a) Ikke korrigeret for temperatur, (b) korrigeret fra temperatur. A = med kloridsalt, B = uten kloridsalt [Pruckner 2002].

Det bør imidlertid poengteres at mekanismene for transport og kjemisk binding av klorider i betong er komplekse, og at det ikke kan lages en generell korrelasjon mellom motstand, oppløste ioner og elektrisk motstand.

- Temperatur

Tilsvarende som for økt innhold av salter og vannmetting, er det naturlig å anta at økt temperatur vil redusere motstanden. Laboratorieforsøk [Vegdirektoratet 86-1998] bekrefter dette, og at motstanden følger Arrhenius' ligning. Dette gir for en brukonstruksjon med middeltemperatur 5 °C en økt motstand på 3 % pr. °C senkning av temperaturen. Et eksempel på temperaturens effekt på motstand i brubetong er vist i Figur C-3.

Ved feltundersøkelse derimot er det ikke vært mulig å kompensere for temperatur kun ved å adoptere resultatene fra laboratorieforsøkene.



Figur C-3: Elektrisk resistivitet som funksjon av vannmetningsgrad (DS) ved 2 temperaturer. Spredning for prøvesett à 5 prøver er indikert [Vegdirektoratet 86-1998].

Både de faste og de variable parameterne gir opphav store lokale forskjeller når det gjelder måling av elektrisk motstand til betong. Dette kan gi opphav til en stor usikkerhet ved tolkning av tolkning av data.

C.4 Tidsbruk for installasjon

Motstandssensorer som installeres i nye konstruksjoner under byggefasen krever normalt ikke ekstra rigging til utføring av installasjonen. Det er ikke behov for spesialverktøy, og tidsbruken for montering av sensoren og dens tilkoblinger vil være forholdsvis liten.

For installasjon i eksisterende konstruksjoner er det ofte behov for rigging i form lift og/eller stillas for adkomst til monteringsstedet.

C.5 Nøyaktighet og behov for kalibrering

Generelt vil den absolutte måleverdien være vanskelig å kunne relatere til andre konstruksjonsdeler (ulikt mikromiljø), eller andre konstruksjoner. Dette har ofte begrenset bruken av metoden til relative målinger. Eksempler på dette kan være indirekte måling av fuktinnhold i betong etter overflatebehandling [Vegdirektoratet 88-1998].

C.6 Levetid

Sensorene har nærmest ubegrenset levetid dersom det benyttes materialer som er bestandig i betongens miljø. Normal er det benyttet bolter av enten rustfritt eller syrefast stål, men også andre materialer kan tenkes brukt.

C.7 Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)

Måleprinsippet for sensoren er vel forstått, og baserer seg på kjent kunnskap. Selve sensorene er relativt enkle og kan produseres med lett tilgjengelige materialer.

Noen erfaringer med metoden er:

Valg av måleinstrument:

Ved bruk av et tradisjonelt multimeter er det knyttet problemer med at man ved måling kan polarisere elektrodene. Ved måling av motstand bør det derfor benyttes vekselstrøm for å unngå polarisering. Normal brukes en frekvens i området rundt 108 Hz (1KHz).

Valg av innstøpingsmørtel (ved ettermontering):

Den benyttede mørtelen fungerer som et kontaktledd/lim mot betongen som skal undersøkes. Det er derfor viktig at denne skaper et godt samvirke uten å ødelegge for måleresultatene. I praksis betyr dette at det må brukes en mørtel med minimalt svinn samt med en god ledningsevne. Videre er det viktig at mørtelens egenskaper er dokumentert over tid, slik at endringer i måleresultatene ikke skyldes effekter forårsaket av en mørtel med endrede egenskaper. Videre er samvirket mellom fukt og utherdning av mørtelen hensiktsmessig å kunne dokumentere i og med at motstandsmålinger er svært følsomme for endringer i fukttilstand over tid.

Erfaringer fra feltmålinger har vist at:

- Det tar tid (flere måneder) innen fukten innført ved boring/innmørtling ikke forstyrrer målingene.
- Spredningen i motstand mellom parallelle boltpar øker kraftig ved innmørtling, og det er enkelt-eksempler på store avvik.

Kommersielle sensorer:

Denne type sensorer er benyttet som instrumentering både ved nye konstruksjoner og forsøkt benyttet ved eksisterende konstruksjoner. Ved ny konstruksjon plasseres sensoren før utstøping, og danner dermed et reelt bilde av den betongen som er blitt benyttet (dersom sensoren har god kontakt med betongen). Ved ettermontering av denne typen sensor i eksisterende konstruksjon er det et ankepunkt at sensorene kun kan monteres ved å meisle eller borre et passende hull i betongen, og deretter støpes inn med egnet mørtel. Dette betyr at de relative målingene av motstand ikke gir et bilde av betongen i konstruksjonen, men av mørtelen sensoren er støpt inn i.

Bruksområdet til disse sensorene har ofte vært å kunne utnytte den sterke relasjonen som finnes mellom fuktighet og motstand. Dette har gjort at sensorene er blitt benyttet til indirekte målinger av fukttilstand i betong over tid. Videre gir denne typen sensor mulighet til å kunne etablere en motstandsprofil i overdekningen.

For ettermonterte sensorer blir det rapportert [Vegdirektoratet 86-1998, Vegdirektoratet 88-1998] om økende motstand over tid trolig grunnet at innstøpingsmørtelen tørker, kombinert med sannsynlig heftbrudd i overgang mellom gammel betong og innstøpingsmørtel. Sistnevnte antas å være forårsaket av svinn i innstøpingsmørtelen. Dårlig kontakt mellom sensor og innstøpingsmørtelen er også en aktuell problemstilling.

C.8 Referanser

R B Polder, Test methods for on site measurement of resistivity of Concrete - A RILEM TC-154 technical recommendation, Construction and Building Materials, Vol 15, 2001, pp 125-131.

F Carassiti, m.fl., Corrosion state Evaluation of Steel in Concrete by Resistivity and Polarization Resistance Measurements, Materials Science Forum, Vols 11-112, 1992, pp 647-658.

Statens Vegvesen, Vegdirektoratet, OFU Gimsøystraumen bru - Sluttrapport: Instrumentering, dokumentasjon og verifikasjon, Publikasjon nr. 86, 1998.

Statens Vegvesen, Vegdirektoratet, OFU Gimsøystraumen bru - Anbefalinger for instrumentert korrosjonsovervåkning av kystbruer i betong. Publikasjon nr. 88, 1998

F Pruckner, Diagnosis and Protection of corroding Steel in Concrete, Dr. ing. Thesis NTNU, 2002.

D Sensor for måling av armeringens korrosjonshastighet

D.1 Formål

Innstøpt sensor for måling av korrosjonshastighet benyttes til å evaluere armeringens korrosjonsaktivitet lokalt i betongen på et gitt tidspunkt. Formålet er å måle korrosjonsutviklingen over tid i en bestemt konstruksjonsdel. Metoden vil også gi svar på i hvilken grad reparasjon/vedlikehold av betongen lokalt (f.eks. overflatebehandling) bidrar til endring i korrosjonsaktiviteten.

D.2 Prinsipp

Målingen krever bruk av et 3-elektrodesett bestående av armering, motelektrode og referanseelektrode. Når et elektrisk signal (vanligvis spenning) påtrykkes armeringen fra motelektroden blir stålets respons på signalet registrert og benyttet til måling av polarisasjonsmotstanden (R_p), som er et uttrykk for motstanden mot å bli rykket ut av sin hviletilstand. Høy motstand indikerer lav korrosjonsaktivitet, mens lav motstand indikerer høy korrosjonsaktivitet. Polarisasjonsmotstanden benyttes til å beregne korrosjonshastigheten. Det skilles mellom tre prinsipielt forskjellige metoder:

- Galvanostatisk puls
- Lineær Polarisasjons-Resistans (LPR)
- Elektrokjemisk Impedans-Spektroskopi (EIS)

De to førstnevnte metodene benytter likestrøm, mens EIS benytter vekselstrøm under målingen.

Galvanostatisk puls

Målingen gjøres ved at armeringen påtrykkes en konstant likestrøm over en kort periode (sekunder) mens endringen i potensialet registreres. Potensial-tid kurven benyttes til beregning av korrosjonshastigheten. Metoden er mest brukt ved måling på betongoverflaten, og mindre for langtidsovervåking med innstøpte sensorer.

Elektrokjemisk Impedansspektroskopi (EIS)

Målingen gjøres ved at vekselspenning (10 – 20 mV) påtrykkes armeringen og den resulterende vekselstrømmen og fasevinkelen registreres ved ulike frekvenser. Metoden er mer avansert enn øvrige metoder, og den anses for å være svært pålitelig. EIS-metoden er tidkrevende og benyttes mest til måling på armerte betongprøver i laboratorium.

Lineær Polarisasjons-Resistans (LPR)

Dette er den mest benyttede metoden til bestemmelse av korrosjonshastighet i betong [Song 2007]. Ved LPR-metoden påtrykkes armeringen en liten spenning nær hvilepotensialet (korrosjonspotensialet) og strømresponsen registreres. Det er en lineær sammenheng mellom påtrykt spenning/potensialendring og strømrespons nær korrosjonspotensialet. Målingen utføres ved hjelp av en potensiostat som påtrykker spenningen i små trinn. Typisk 0.1 mV/s fra ca 10 mV til side for korrosjonspotensialet (på positiv eller negativ side) gjennom "nullpunktet" til ca 10 mV på den andre side av potensialskalaen. I dette måleområdet er det en lineær sammenheng mellom spenning/potensialendring og strøm. Følgelig kan Ohms lov benyttes til å måle motstanden:

$$R_p = \Delta E / \Delta I$$

$$\Delta E = \text{Påtrykt spenning/potensialendring}$$

$$\Delta I = \text{Strømrespons}$$

Figur D-1 viser en lineær polarisasjonskurve (rett linje) og illustrerer definisjonen av R_p .

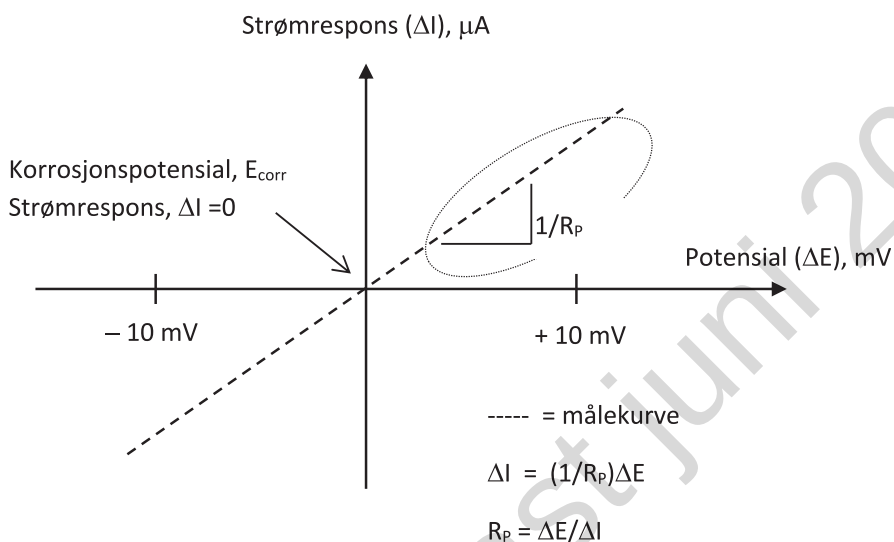
I henhold til grunnleggende korrosjonsteori er korrosjonsstrømmen (I_{kor}) omvendt proporsjonal med polarisasjonsmotstanden (R_p):

$$I_{\text{kor}} = B / R_p$$

$B = \text{konstant} \sim 26 \text{ mV}$ [Andrade 2019]

Korrosjonshastigheten (korrosjonsstrøm per areal, strømtetthet, $\mu\text{A}/\text{cm}^2$) er gitt ved

$i_{\text{kor}} = I_{\text{kor}} / A = \{B/R_p\}/A = \{B/(\Delta E/\Delta I)\}/A = (B/A) (\Delta I/\Delta E)$ der A er overflatearealet til armeringsstålet som har mottatt påtrykt elektrisk signal.



Figur D-1: Prinsippet for måling og beregning av lineær polarisasjonsmotstand (R_p).

Det er viktig å bemerke at målte og beregnede verdier er øyeblikksverdier som representerer korrosjonsaktiviteten på måletidspunktet, og ikke er konstante verdier for gitte konstruksjonsdeler. Korrosjonshastigheter kan variere betydelig som følge av endringer i temperatur og betongens fuktinnhold. Korrosjonshastigheten kan omregnes til "korrosjonsdybde-hastighet", det vil si hvor mye stål som forsvinner over en gitt tidsperiode dersom korrosjonshastigheten hadde vært konstant i perioden. Beregning ved bruk av Faradays lov viser at en korrosjonshastighet på $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ over et helt år tilsvarer en "korrosjonsdybde" på $11,6 \mu\text{m}$. Dette betyr at "korrosjonsdybde-hastigheten" X ($\mu\text{m}/\text{år}$) vil være:

$$X = 11,6 \cdot i_{\text{kor}}$$

der i_{kor} er gitt i $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

Korrosjonsstrømmålinger ved ZRA

D.3 Anvendelsesområde

Sensor for måling av korrosjonshastighet kan installeres under nybygging, eller i eksisterende konstruksjoner. Plassering av sensorer vil normalt være i områder som er korrosjonsutsatte, og for dokumentasjon av effekten ved bruk av reparasjonsmaterialer, slik som overflatebehandling.

D.4 Tidsbruk for installasjon

Sensorer (3-elektrodesett) som installeres i nye konstruksjoner under byggefasen krever normalt ikke ekstra rigging til utføring av installasjonen. Tidsbruken for montering av 3-elektrodesettet og dens tilkoblinger vil da være forholdsvis liten.

For installasjon i eksisterende konstruksjoner er det ofte behov for rigging i form lift og/eller stillas for adkomst til monteringsstedet. Man ønsker vanligvis å installere sensoren i områder utsatt for korrosjonsrisiko, eksempelvis i en brusøyle.

D.5 Nøyaktighet og behov for kalibrering

Forutsatt at referanseelektroden er stabil i den tiden målingen pågår, og at måleutstyret fungerer normalt, vil beregnet polarisasjonsmotstand gi en omtrentlig verdi på korrosjonsaktiviteten i måleøyeblikket. Usikkerheten er mest knyttet til hvor stor ståloverflate (areal) som polariseres. Derfor blir korrosjonshastighet ikke nødvendigvis helt eksakt, men gir en omtrentlig verdi i måleområdet.

Det kreves ingen kalibrering av 3-elektrodesettet med unntak av referanseelektroden (se vedleggets Kapittel B).

D.6 Levetid

Referanseelektroden i 3-elektrodesettet har kortest levetid. Øvrige komponenter kan forventes å ha svært lang levetid.

D.7 Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)

Innstøpte sensorer for polarisasjonsmåling i betong ved bruk av LPR-metoden har vært benyttet til korrosjonsovervåkning siden 1990-tallet, men i forholdsvis lite omfang. Det finnes ingen kommersielle 3-elektrodesett spesialdesignet for betong. Det er vanlig å benytte kommersielle referanseelektroder og egenproduserte motelektroder av inert materiale (f.eks. bolter av rustfritt stål). LPR-metoden er en velprøvd og mye benyttet metode for bestemmelse av korrosjonshastighet i vannsystemer. I betong derimot, er situasjonen en annen. Her kan metoden ofte gi usikre måledata. Selve målingen, samt beregninger korrosjonshastighet, bør utføres av eksperter på området (Angst 2015).

Metodene galvanostatisk puls og EIS er fortsatt umodne for bruk på innstøpte sensorer i betong, og må derfor anses som metoder under utvikling.

D.8 Referanser

H Song og V Saraswathy, *Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures - A Review*, Int. J. Electrochem. Sci., Vol 2, 2007, pp 1- 28.

C Andrade, *Propagation of reinforcement corrosion: principles, testing and modelling*, Materials and Structures (2019) 52:2.

Angst, U. and Büchler, M. (2015), On the applicability of the Stern–Geary relationship to determine instantaneous corrosion rates in macro-cell corrosion. Materials and Corrosion, 66: 1017-1028. <https://doi.org/10.1002/maco.201407997>

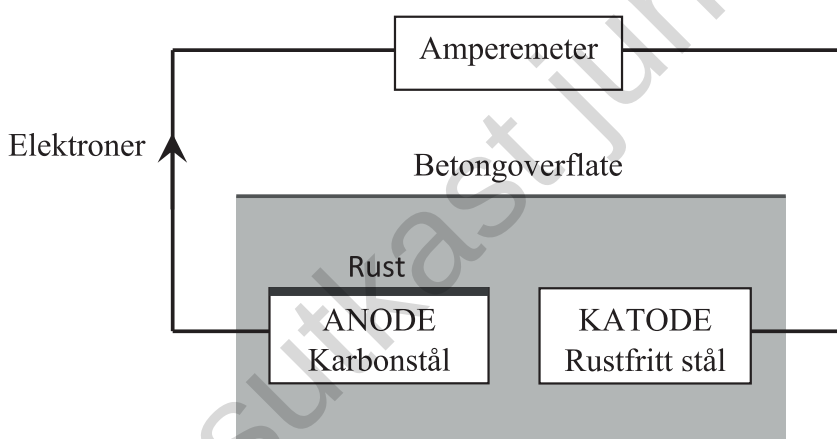
E Sensorer for måling av korrosjoninitiering

E.1 Formål

Innstøpte sensorer for måling av korrosjoninitiering benyttes til å anslå tid til oppstart av armeringskorrosjon. Sensorene detekterer karbonatiserings- og/eller kloridfronten fra betongoverflaten inn til armeringen ved at det initieres makrocellekorrosjon på sensoranodene med ulik betongoverdekning. Dette kan i sin tur benyttes til å anslå tid til mulig korrosjonsinitiering på armeringen.

E.2 Prinsipp

Sensorer monteres vanligvis i betongoverdekningen og består av flere separate og elektrisk isolerte anoder. Anodene – vanligvis små staver eller ringer av stål av kvalitet sammenlignbar med armeringsstål – har en fast avstand fra hverandre i ulike dybder fra betongoverflaten. Når sensorens katode blir koblet elektrisk til de ulike anodene via tilkoblingskabler, kan makrocellestrømmen mellom anode og katode måles med et amperemeter, slik som vist skjematisk i Figur E-1. Korrosjonsstart kan også måles ved hjelp av en referanseelektrode som installeres i nærheten av sensoren, eller ved måling av lineær polarisasjonsmotstand (LPR) dersom både motelektroden og referanseelektroden er installert sammen med sensoren. Katoden kan være et korrosjonsresistent metall som plasseres i nærheten av anoden (eller er del av sensoren). I noen tilfeller kan også armeringsnettet brukes som «katode».



Figur E-1: Prinsippskisse av en korrosjonssensor for måling av makrocellestrøm i betong.

Når karbonatisering- og/eller kloridfronten når første anode (nærmest betongoverflaten) vil denne depassiveres og gi betydelig høyere makrocellestrøm sammenliknet med strømstyrken før depassivering, eller viser et fall i potensialet. Ved å foreta regelmessige strømmålinger og/eller potensialmålinger på alle anodene kan man følge tidsutviklingen til karbonatisering- og/eller kloridfronten. Denne utviklingen kan benyttes til å beregne tid til korrosjoninitiering på stålarmingen. Et utvalg av kommersielle sensorer er vist i Figur E-2.

Kommersielle sensorer blir noen ganger utstyrt med ekstra sensorenheter for måling av andre korrosjonsrelevante parametere, slike som korrosjonspotensial, temperatur og elektrisk motstand i betong. Sensorer kan enten kobles til et overvåkningsanlegg for fjernstyrte periodiske målinger, eller benyttes til manuelle målinger med gitte tidsintervaller.



Figur E-2: Et utvalg sensorer for betong. (A) Anode-Ladder-System sensor, (B) CorroWatch sensor (Foto: Protector AS).

Ved å måle korrosjoninitiering på anoden i forskjellig dybder i overdekningssonen kan korrosjonsstart ved armering ekstrapoleres matematisk. Parametere som påvirker målingene (som temperatur og betongens fuktighet) må hensyntas når man tolker måleresultatene.

Sensoren kan også brukes til å måle elektrisk motstand mellom anodene i forskjellige dybder i overdekningen. Videre kan sensoren brukes til å anslå forventet korrosjonshastighet og tidsavhengighet i korrosjonsutvikling (i forhold til for eksempel årstider). Det må påpekes at sensoren ikke kan gi informasjon om den faktiske korrosjonshastighet av armeringsstålet.

Sensoren kobles til et overvåkningsanlegg for fjernstyrte periodiske målinger, eller det kan foretas manuelle målinger med gitte tidsintervaller.

E.3 Anvendelsesområde

Siden sensorer for måling av korrosjoninitiering kun kan gi tolkbare måleverdier når de er installert i samme material/miljø som armeringen, er de mest egnet til montering i nybygg. Dersom sensoren skal benyttes til å dokumentere effekter av reparasjon av eksisterende betongkonstruksjon, er det viktig å merke seg at sensoren ikke vil gi noen informasjon om de deler av konstruksjonen som fortsatt består av opprinnelig betong. Sensormontering i reparerte områder benyttes til å dokumentere effekten ved bruk av reparasjonsmaterialer, slik som ny betong og/eller overflatebehandling. Det er viktig å være klar over at bruk av denne typen sensorer i eksisterende konstruksjoner ofte er beheftet med mange feilkilder, og kan derfor ikke anbefales.

E.4 Tidsbruk for installasjon

Makrocellesensorer som installeres i nye konstruksjoner under byggefasen krever normalt ikke ekstra rigging til utføring av installasjonen. Det er ikke behov for spesialverktøy, og tidsbruken for montering av sensoren og dens tilkoblinger vil være forholdsvis liten. Det er viktig med nøyaktig bestemmelse og registrering av sensorplasseringen/posisjonen (særlig avstand fra betongoverflaten).

E.5 Nøyaktighet og behov for kalibrering

Nøyaktigheten av sensoren avhenger av måten korrosjonsinitiering måles på, det vil si nøyaktigheten av potensialmålingene, makrostrømmålingene, eller LPR målingene (se respektive kapitler). I tillegg er påliteligheten av sensoren avhengig av at korrosjon på anodene initieres ved en sammenlignbar mekanisme som på armeringsstålet. Anoder kan enkelt produseres med stålqualität som er sammenlignbar med vanlig armeringsstål, men anoden er som oftest produsert av reingjort glatt stål, og ikke kamstål. Som følge av dette er grenseflaten mellom stål og betong forskjellig fra det som kan forventes på armeringsstålet, og dette kan påvirke korrosjoninitiering [Angst 2019]. Samtidig er det totale eksponerte stålarealet av anoden som oftest betydelig mindre enn arealet av armeringsstålet, og der-

med er den statistiske sannsynligheten for korrosjonsinitiering mindre på anoden enn for armeringsstålet [Angst 2010]. I tillegg er området som dekkes av sensoren begrenset i omfang, og resultatene gjelder ikke for andre deler av konstruksjonen hvor eksponeringsbetingelsene muligens er forskjellige. Korrosjonsinitiering er en probabilistisk parameter, og det må alltid påregnes en viss usikkerhet i resultatene. Derfor er det anbefalt å bruke flere parallelle sensorer for å kunne gi en pålitelig prognose. Sensorene kan kun gi en indikasjon på inntrengningshastighet av klorider eller CO₂, samt et tidsperspektiv for økende korrosjonsrisiko på armeringsstålet.

Sensoren selv (utenom referanseelektroden) trenger ingen kalibrering, men det må utarbeides en sjekkliste for å kontrollere at anodene ikke er i elektrisk kontakt med hverandre for å unngå «katodisk beskyttelse» av deler av sensoren.

E.6 Levetid

Sensoren selv (anodene) har en nesten ubegrenset levetid (så lenge ikke anoden er fullstendig korrodert). Målinger og vurderinger er derimot avhengig av levetiden av referanseelektroden og/eller elektronikken som måler potensialer og makrocellestrømmer.

E.7 Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)

Måleprinsippet for sensoren er vel forstått, og baserer seg på kjent kunnskap. Anodestiger (se Figur F-1 skal vel være E-1) er brukt siden begynnelsen av 1990-tallet og det finnes dokumentert felt-erfaring. Det finnes kun noen få leverandører for en standardisert løsning, men selvkomponerte typer av sensoren kan enkelt produseres i et metallverksted.

Det finnes også en sensor som er basert på det samme prinsippet som beskrevet ovenfor, men denne sensoren er bygget med ståltråd istedenfor stålstaver. Det blir målt motstand (veksel- eller likestrøm) i hver tråd, og etter hvert som de enkelte trådene begynner å korrodere, endrer motstanden seg. Dette gir informasjon om inntrenging av klorider. Det finnes ingen erfaring med bruk av denne sensoren i Norge, og det er fortsatt en del usikkerhet knyttet til bruk av sensoren, og er derfor ikke videre omtalt her.

E.8 Referanser

U M Angst m.fl., *The effect of the steel-concrete interface on chloride induced corrosion initiation in concrete*, Materials and Structures 52, No. 88, 2019.

U M Angst m.fl., *Considerations on the effect of sample size for the critical chloride content in concrete*, 2nd Int. Symp. on Service Life Design for Infrastructure, Delft, The Netherlands, 4-6 October 2010, e-ISBN: 978-2-35158-097-4, pp 569-576.

F Sensor for måling av temperatur

F.1 Formål

Ved tolkning av måledata fra øvrig instrumentering er det viktig å vite temperaturen, da denne i stor grad påvirker måleverdiene, eksempelvis elektrisk motstand i betong. Dette krever selvsagt at temperatursensorene er montert nær de innstøpte sensorene.

F.2 Prinsipp

Det har i mange år vært vanlig å benytte termoelementer av typen kopper/konstantan. Termoelementet består av to metalltråder av henholdsvis kopper og konstantan (metallegering). De er loddet sammen i enden (målepunktet) og påført en krympestrømpe. I motsatt ende kobles de to trådene til et voltmeter for avlesning av en liten elektrisk spenning. Spenningen er avhengig av temperaturforskjellen mellom målepunktet (loddepunktet) og koblingen til voltmeteret. Dersom temperaturen i/ved måleenheten (voltmeteret) er kjent kan man beregne temperaturen i målepunktet.

Det er i dag like vanlig å benytte sensortypen RTD (Resistance Temperature Detector). Metoden er basert på en svært presis relasjon mellom temperatur og elektrisk motstand i en metalltråd, vanligvis viklet rundt en kjerne av glass eller keramisk materiale. Metoden har gradvis erstattet termoelementer. Optisk fiber kan også benyttes til måling av temperatur. Når lys sendes gjennom fiberen vil brytningsindeksen, og dermed lysfarten, påvirkes av temperaturen. Denne effekten er målbar og kan benyttes i en temperatursensor [López-Higuera 2010].

F.3 Anvendelsesområde

Temperatursensorer installeres i både nye og eksisterende konstruksjoner der man samtidig installerer øvrige sensorer. Dette fordi endring temperatur i stor grad påvirker måleverdier til andre sensorer.

F.4 Tidsbruk for installasjon

Installasjon i nye konstruksjoner krever vanligvis ingen ekstra rigging, mens installasjon i eksisterende konstruksjoner kan kreve noe rigging. Tidsbruken er vanligvis liten.

F.5 Nøyaktighet og behov for kalibrering

Temperatursensorer er svært nøyaktige, og termoelement-typen svikter sjelden dersom de er loddet i koblingspunktet. Alle sensorer skal kalibreres før installasjon.

F.6 Levetid

Temperatursensorer har vanligvis svært lang levetid (opptil flere tiår).

F.7 Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)

Bruk av termoelement for måling av temperatur er en metode som er brukt i lang tid, og med god erfaring. Det finnes en rekke leverandører av termoelementer. Bruk av optisk fiber for måling av temperatur i betong er økende, og erfaringen så langt er positiv.

F.8 Referanser

J M López-Higuera m. fl., *Fiber optics in Structural Health Monitoring*, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering (November 2010), Journal of Lightwave Technology, Vol 29, 2011, pp 587-608.

G Sensor for måling av relativ fuktighet i betong

G.1 Formål

Korrosjonsaktiviteten til stål i betong er påvirket av betongens fuktinnhold. Høyt fuktinnhold senker den elektriske motstanden i betong, noe som igjen legger forholdene til rette for at oppløste ioner kan migrere raskere i den elektrokjemiske korrosjonsprosessen. Vannmetningsgraden vil også påvirke transporten/diffusjonen av luft (CO_2 og O_2) inn i betongen. Dette vil i sin tur påvirke karbonatiseringshastigheten (CO_2 -inntrengning) og reaksjonshastigheten til katodereaksjonen (reduksjon av O_2). Innstøpt sensor for måling av relativ fuktighet (RF-sensor) vil derfor være nyttig i evaluering av parametre som påvirker korrosjonstilstanden over tid i ulike deler av betongkonstruksjonen. I hvilken grad overflatebehandling av betong påvirker fukttilstanden vil også kunne overvåkes ved bruk av innstøpt RF-sensor.

G.2 Prinsipp

Relativ fuktighet i betong, målt i et luftfylt lukket hulrom i betongen, er forholdet mellom det faktiske vanndamptrykket p i denne luften og det maksimale vanndamptrykket p_s (metningstrykket) ved den aktuelle temperaturen, multiplisert med 100 for å få enheten %:

$$\text{RF} = (p/p_s) \times 100\%$$

Forenklet kan man si at en RF-verdi på 0% betyr 'knusktørr' luft, mens 100% betyr 'regnvåt' luft. RF-verdien er temperaturfølsom, noe som betyr at målt/beregnet %-verdi vil kunne variere mye ved to ulike temperaturer selv om den faktiske vanndampmengden i g/m^3 i hulrommet er nokså lik i de to tilfellene. Derfor er RF-sensorer ofte utstyrt med en egen integrert temperaturmåler. Hvis ikke, må det monteres en separat temperatursensor i umiddelbar nærhet til RF-sensoren.

Det finnes mange typer kommersielle RF-sensorer for innstøping i betong. De kan være basert på ulike måleprinsipper, hvorav de tre mest vanlige er beskrevet i Tabell H-1 [K De Weerd og M Geiker 2016].

Tabell G-1 Ulike typer RF-sensorer

Sensortype	Måleprinsipp
Kapasitiv	Sensoren består av et hygroskopisk dielektrisk materiale som er plassert mellom to elektroder. Dette danner en liten kondensator. Kapasitansen til sensoren avhenger av dens fuktinnhold og dermed RF i luften den er i kontakt med. Et eksempel på denne sensortypen er vist i Figur G-1.
Resistivitet	Sensoren består av et hygroskopisk materiale der resistiviteten (spesifikk motstand) til materialet endrer seg med RF. En kjent sammenheng mellom resistivitet og RF gjør at sistnevnte kan beregnes basert på målt motstand.
Elektrolyttisk	Sensoren inneholder en elektrolytt som endrer sin elektriske ledningsevne avhengig av RF i luften som er i kontakt med elektrolytten. En kjent sammenheng mellom disse parametrene gjør at RF kan beregnes basert på målt ledningsevne.



Figur G-1: Eksempel på kapazitiv RF-sensor fra Rotronic. Sensorens diameter og lengde er henholdsvis ca 15 mm og 100 mm (<https://www.rotronic.com/en/hc2a-s>).

G.3 Anvendelsesområde

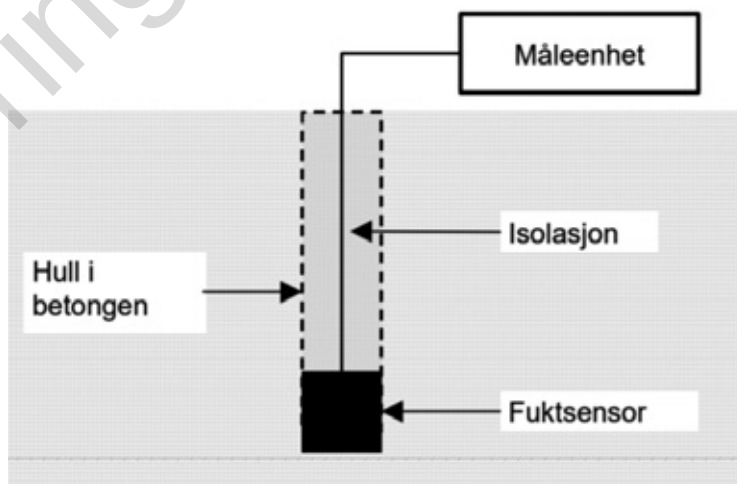
RF-sensorer beskrevet i denne publikasjonen er primært tiltenkt montering i eksisterende betongkonstruksjoner. Formålet er hovedsakelig å kunne detektere eventuelle endringer i fukttilstanden over tid, særlig etter overflatebehandling eller andre reparasjons- og vedlikeholdstiltak. RF-sensoren er også, i likhet med motstandssensoren, en god 'hjelpesensor' nær innstøpte sensorer for korrosjonsmåling. Slik sammenstilling og samtolkning av data fra flere ulike sensorer i samme område vil kunne gi et godt bilde av korrosjonstilstanden og dens årsakssammenhenger.

G.4 Tidsbruk for installasjon

For installasjon i eksisterende konstruksjoner er det ofte behov for rigging i form lift og/eller stillas for adkomst til monteringsstedet.

Man ønsker vanligvis å installere RF-sensoren i områder nær andre sensorer. Tidsbruk ved selve installasjonen av RF-sensoren er normalt forholdsvis liten.

Prinsippskisse for installering av RF-sensor i betong er vist i Figur G-2. Andre gode illustrasjoner og beskrivelser som viser montering av RF-sensorer kan finnes i presentasjoner fra nordisk konferanse som ble avholdt i Trondheim i 2018 [Nordic Concrete Federation 2019].



Figur G-2: Prinsippskisse for måling av relativ fuktighet i betong (<https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/191198>)

G.5 Nøyaktighet og behov for kalibrering

RF-sensoren vurderes å være nokså nøyaktig under forutsetning av at forseglingen rundt sensoren er tett, det vil si at hulrommet er lukket for ytre påvirkning.

Det kreves kalibrering både før og etter installasjon, samt jevnlig framtidig kalibrering, anslagsvis én gang i året. Kalibreringen skal utføres i henhold til leverandørens anvisninger, og eventuell forskjell/avvik fra ett år til det neste skal undersøkes ved identisk kalibreringseksponering: 20°C og 85 % RF. Avviket skal da være maksimalt ± 2 % RF.

G.6 Levetid

RF-sensorer forventes å ha flere års levetid, og leverandøren bør kunne dokumentere langtidsstabilitet.

G.7 Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)

Måling av RF bygger på gamle og velkjente måleprinsipper, og metoden har vært benyttet i Norge og internasjonalt i mange år. Det finnes en lang rekke leverandører på markedet [K De Weerd og M Geiker 2016]. Det eksisterer en rekke felterfaringer fra bruk i betong over de siste 20-30 år.

G.8 Referanser

K De Weerd og M Geiker, *Workshop on Moisture in Concrete, Trondheim, Norway 6–7 February 2012*, COIN project report 81, SINTEF Building and Infrastructure, Norway, 2016

The Nordic Concrete Federation, *Relative humidity (RH) in concrete*, Proceedings from a Nordic workshop, Trondheim 7-8 Nov 2018, Workshop Proceedings No. 13, 2019.

H Andre sensorer – pH, klorid og fuktinnhold

H.1 Formål

Disse sensorene måler parametere som i stor grad påvirker korrosjonsaktiviteten på armeringen, og måleverdier fra disse kan derfor benyttes til å evaluere/forklare aktiviteten, eller registrere karbonatiseringsfronten (pH) eller kloridinntrengning. Sensorene egner seg derfor best til installasjon i nye konstruksjoner, og vil dermed være et godt hjelpemiddel til å sette inn tiltak før korrosjon er oppstått, eksempelvis overflatebehandling.

H.2 Prinsipp

pH-sensor

Sensoren er en oksidert iridiumelektrode (IrO_x) som responderer på endring i pH-verdi. Selve målepunktet består av en tynn oksidert iridiumtråd som er maskert/beskyttet utenfor selve målepunktet slik at elektroden er robust og kan monteres i betong. Potensialresponsen i forhold til pH er tilnærmet lineær i pH-området 9-13,5, og er gitt av:

$$E(\text{IrO}_x) = E^\circ(\text{IrO}_x) + b \cdot \text{pH}$$

E° angir potensialet i standardtilstand (konsentrasjon lik 1 og temperatur 25°C), og b er en konstant [Femenias 2017].

Kloridsensor

Sensoren er en ioneselektiv Ag/AgCl-elektrode der potensialresponsen påvirkes av oppløst klorid i betongporevannet og følger Nernst lov med en stigning på 59 mV per dekode kloridkonsentrasjon og med en deteksjonsgrense ned mot 0,01 mol/liter. Elektroden er noe følsom for pH [Angst 2010].

Fiberoptisk fuktsensor

Det finnes to typer fibersensorer for fuktmåling. Den enkleste typen måler fukt i et avgrenset lite punkt ('single-point sensing') ved hjelp av en plastbelagt FBG-sensor (Fibre Bragg Grating). En mer avansert type består av en fiber som er innkapslet i en gel som sveller i kontakt med vann. Slik vil man kunne måle fuktvariasjoner langs lengderetningen av sensoren, såkalt 'distributed sensing' [Bremer 2016].

H.3 Anvendelsesområde

Disse sensorene, spesielt pH- og kloridsensorene, egner seg best til installasjon i nye konstruksjoner for å kunne registrere karbonatisering og kloridinntrengning over tid. Fuktsensoren er anvendelig for tolkning av pågående korrosjonsaktivitet, og er derfor en viktig 'hjelpesensor' nær sensorer for korrosjonsmåling.

H.4 Tidsbruk for installasjon

Siden disse sensorene vanligvis blir installert i byggefasen er behov for ekstra rigging minimal. Installasjon av elektrodesensorene (pH og klorid) er som for referanseelektroder, men noe mer tidsbruk kan være påkrevet. Tidsbruken øker dersom man velger å installere et sett med elektroder med ulik dybde/overdekning i samme område. Det vil kreve noe tidkrevende posisjonering av elektrodesettet.

Tidsbruk ved installasjon av fuktsensoren er normalt forholdsvis liten.

H.5 Nøyaktighet og behov for kalibrering

Elektrodesensorene (pH og klorid) gir kun omtrentlige verdier. Dette skyldes primært at det er knyttet måleusikkerhet til både elektrodesensoren og referanseelektroden som benyttes under målingen. Det er behov for kalibrering av alle elektrodene før installasjon.

Fuktsensoren vurderes å være forholdsvis nøyaktig, men det kreves kalibrering før installasjon.

H.6 Levetid

Elektrodesensorene forventes å ha en levetid tilsvarende referanseelektroder, men dette er ikke bekreftet ved dokumentasjon. Fuktsensorens forventede levetid er usikker.

H.7 Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)

Sensorene for pH, klorid og fukt er under utvikling, og det foreligger ingen kommersielle aktører som tilbyr slike sensorer til bruk i betong. Fuktmåling i betong ved hjelp av fiber er en ny teknologi med liten dokumentert erfaring.

H.8 Referanser

U M Femenias m. fl., pH-monitoring in mortar with thermally-oxidized iridium electrodes, RILEM Technical Letters Vol. 2, 2017, pp 59-66.

U Angst m. fl., *Potentiometric determination of the chloride ion activity in cement based materials*, J. Appl. Electrochemistry, March 2010, Volume 40, **Issue 3**, pp 561–573.

K Bremer m. fl., *Fibre optic sensors for the structural health monitoring of building structures*, Procedia Technology 26, 2016, pp 524 – 529.

I Sensorer for måling av tøyning og deformasjon

I.1 Formål

Sensorer for måling av tøyning og deformasjon i betong benyttes til å evaluere om det finnes bevegelse mellom forskjellige elementer, eller deler av det samme elementet, eller vurdere betongens/armeringens deformasjon. Overvåkning av tøyning og deformasjon er beskrevet med tanke på bestandighet av betongkonstruksjoner. Bæreevne og kapasitet av konstruksjoner er ikke behandlet.

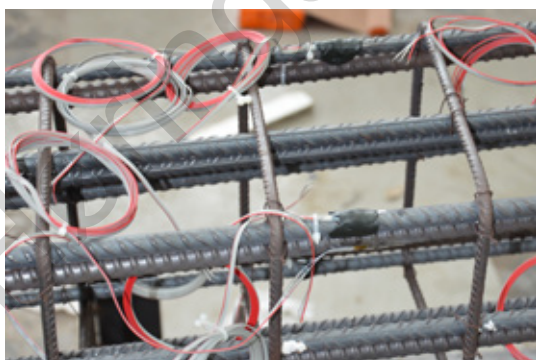
Metoden kan gi svar på når reparasjon/vedlikehold av betongen er nødvendig basert for eksempel på den såkalte "kritisk rissvidde". Når riss/sprekker overvåkes, må årsaken undersøkes. Det er flere mekanismer som kan føre til aktive riss/sprekker: deformasjon, bevegelse, overbelastning, setning, feilplassert armering, alkalireaksjon, og armeringskorrosjon blant annet.

De følgende sensorene er beskrevet og illustrert i Figur I-1 til Figur I-4:

- Strekkklapper
- Lineære posisjonssensorer (LVDT)
- DEMEC (demountable mechanic strain gauge)
- Optiske fibersensorer



Figur I-1: Strekkklapper montert på betong (venstre) og steinmur (høyre)



Figur I-2: Strekkklapper montert på vanlig armering (venstre) og Stag Dywidag (høyre).



Figur I-3: LVDT av forskjellig størrelse.



Figur I-4: DEMEC montert på et hjørne med sprekk.

I.2 Generelt/ Prinsipp

Strekkklapper

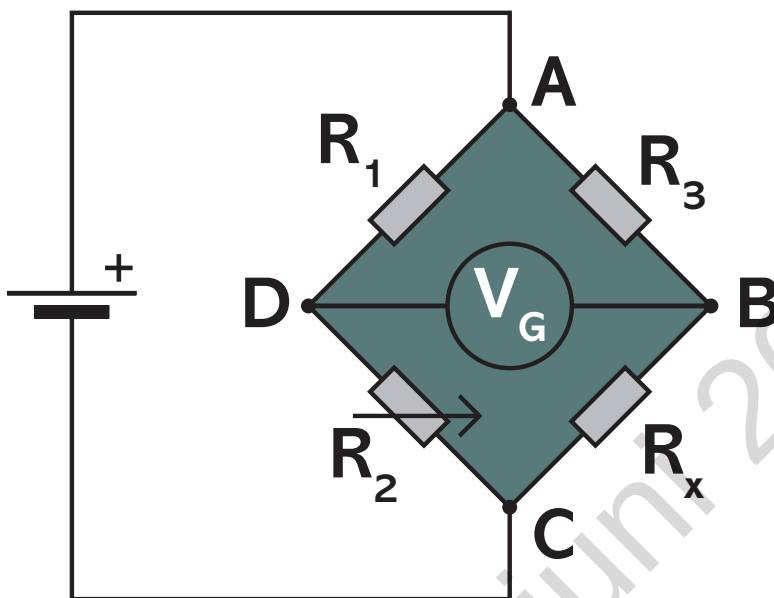
Strekkklapper måler forlengelse/forkortelse av liten størrelse i sin egen lengderetning. De plasseres i punktuelle steder og med en spesifikk retning.

Strekkklapper kan benyttes både på betong og armering. En tommelfingerregel er at sensoren må være minst 5 ganger større enn den største tilslagspartikkelen. Lengden til betongstrekkklapper er vanligvis 100 x 20 mm, mens stålstrekkklapper er ca. 5 x 3 mm. Det finnes strekkklapper av forskjellige størrelser og typer (1-, 2- eller 3-retningsmåling (strekkklapp-rosett)).

Temperaturen påvirker målinger med strekkklapper. Temperaturen må måles samtidig for å kompensere effekten i henhold til leverandørens anvisninger.

Strekkklapper måler deformasjon (ekspansjon eller kompresjon) basert på Ohms lov. Den elektriske motstanden av en innebygd krets som er avhengig av forlengelse/forkortelse måles. Den elektriske motstanden er også avhengig av temperaturen. For å hindre temperatureffekten monteres sensoren sammen med tre like store resistanser (Wheatstone-bro). Figur I-5 viser prinsippskjema til Wheatstone-bro. På denne måten kan man måle/beregne den elektriske motstanden til strekkklappen grunnet deformasjon.

Det finnes forskjellige elektriske krefter som hindrer temperatureffekten basert på Wheatstone-broen. Strekkklapper er generelt svært sensitive. Montering, miljøet (temperatur, fukt, sollys) og laster vil påvirke målinger. Mann må nøye vurdere i hvilken grad miljøbelastning og strukturelle forhold gjør at sensoren fungerer som forutsatt.



Figur I-5: Prinsippskjema Wheatstone-bro. Kilde: <https://da.wikipedia.org/wiki/Wheatstonebro>.

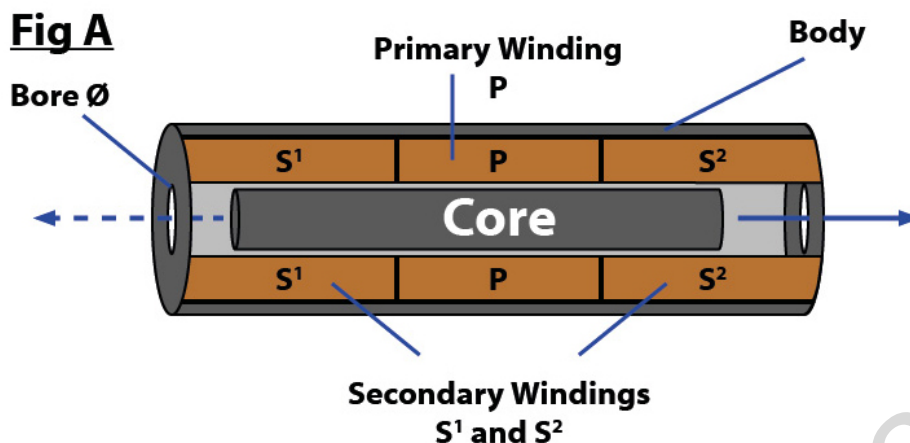
LVDT

Lineære posisjonssensorer (LVDT) måler forlengelse/forkortelse i sin egen retning mellom to faste punkter. Med triangulering kan man måle forskyvning i forskjellige retninger. Sensorene er tilgjengelige i forskjellige størrelser, og kan benyttes til å overvåke blant annet forskyvning av riss/sprekker, nedbøyning/avbøyning, og eventuelle bevegelser.

Det må brukes LVDT som er skjermet mot magnetisk påvirkning.

Forskyvning mellom de to endene til LVDT detekteres ved måling av elektriske motstanden i den innebygde kretsen i sensoren.

I betongkonstruksjoner benyttes det induktive LVDT-sensorer som er skjermet mot magnetisk påvirkning. Disse sensorene inneholder spoler som skaper et magnetfelt rundt en jernkjerne (Figur I-6). Når jernkjernen som ligger i magnetfeltet beveges, endres induksjonsforholdet slik at det kan måles lineær forskyvning mellom de to endene til LVDT-sensoren.



Figur I-6: LVDT prinsippskjema, hentet fra <https://lvd.co.uk/> og <https://ars.els-cdn.com/content/image/3-s2.0-B978143777807610004X-f04-05ab-9781437778076.jpg>

DEMEC

Med DEMEC (demountable mechanic strain gauge) måles avstand mellom måleknaster, enten med et digitalt ekstensometer, eller digital avlesning. Måleknastene plasseres på betongoverflaten. Med triangulering kan man måle forskyvninger i forskjellige retninger.

Knastene kan være Ø10/13 mm metallbiter av rustfritt gjengestål.

Det finnes programvare som vurderer avstandsendringer med digital avlesning (DIC) basert på bilder. Utstyr som trengs er vanligvis et kamera med manuell innstilling av parameterne til bilde, linse, kamerablits, softboks og stativ. Parameterne til bilde er avhengig av størrelse, lysforhold og farge til betong. Man må finne hvilken kombinasjon som optimaliserer kvaliteten til bildet. Figur I-7 viser en eksperimentell tilnærming til bruk av 'strain gauge'.

Optisk fiber

Det finnes forskjellige typer av optiske fibersensorer som måler parameterne basert på lysmåling. Lys ledes gjennom de optiske fiberkablene (kjerne) som er innkapslet i en kappe som har lavere brytningsindeks. På denne måten samler kjernen lyspulser, og det er mulig å registrere når lysbølgeforholdet endrer seg.

Det finnes optiske fibersensorer som er tiltenkt montering i en bestemt lokalitet, og sensorer som er beregnet for kontinuerlig fordeling i et større område.

I.3 Anvendelsesområde

Sensorer må installeres i samme material som skal overvåkes.

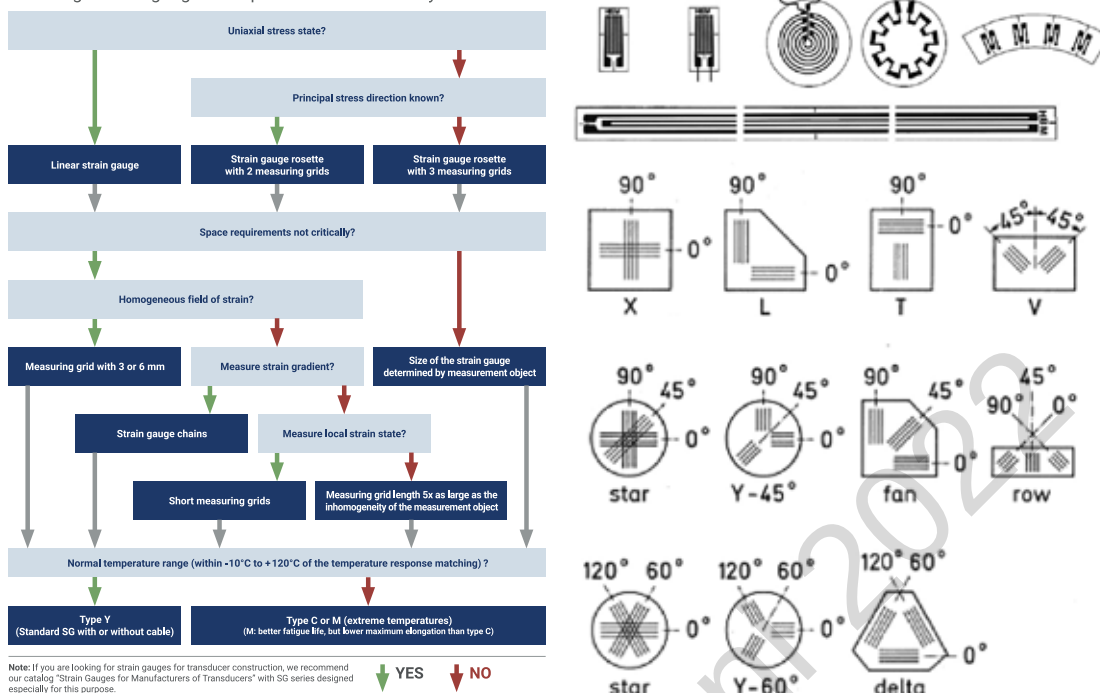
Generelt må sensorene monteres på en måte som ikke påvirkes av forhold som kan forstyrre målingene.

Strekklapper

Stålstrekklapper brukes mest i nybygg, mens betongstrekklapper monteres på betongoverflate.

Det finnes strekklapper som måler deformasjon i forskjellige retninger. Man må vurdere hvilken type som passer best for hvert enkelt område.

Selecting a strain gauge for experimental stress analysis



Figur I-7: Eksempel på 'strain gauge' tilnærming (<https://www.hbm.com/en/7164/how-to-find-the-right-strain-gauge/>).

Strekklapper må monteres på en ren og flat overflate:

- Stålstrekklapper: Først benyttes grov smergel og deretter fint sandpapir til overflaten blir glatt. Kamstål kan for eksempel gjøres glattpolert mellom to ribber (avhengig av størrelse). Før strekkklapper monteres må armeringens flate rengjøres med rensesvæske og strekkklappene plasseres i riktig posisjon med for eksempel tape. Det er viktig å holde armeringsretning. Hurtigherdende spesiallim blir brukt for å lime strekkklapper på ståloverflaten. Lappen må trykkes hardt ned mot metallet i ca. ett minutt til limet er herdet. Det er viktig å unngå luftbobler mellom lapper og stål. Strekkklappene og kablene må beskyttes ved å påføre lim over og rundt.
- Betongstrekklapper: Først må betongoverflaten rengjøres. Det er viktig å holde retningen korrekt, for eksempel ved hjelp av en linjal på betongoverflaten. Hurtigherdende spesiallim blir brukt for å lime fast strekkklapper. Lappen må trykkes hardt ned mot betong i ca. ett minutt til limet er herdet. Det er viktig å unngå luftbobler mellom lapper og betong.

LVDT

LVDT festes med to skruer som støpes fast i nye konstruksjoner, eller som plasseres i borhull i eksisterende konstruksjoner. Ved montering i borhull skal skruene skyves sakte inn slik at overskytende mørtel presses ut, og eventuelle hulrom etterfylles med mørtel.

Man må forhåndsvurdere graden av forlengelse/forkortelse som skal overvåkes for å kunne velge sensor med passende egenskaper.

DEMEC

Måleknaster kan støpes i fersk betong eller monteres i eksisterende konstruksjoner i boret hull, eller limt fast.

Man må forhåndsvurdere graden av forlengelse/forkortelse som skal overvåkes for å kunne velge plassering og antall måleknaster.

Optisk fiber

Optiske fibersensorer er basert på lysmåling og det finnes forskjellige muligheter/typer.

Tradisjonelle ikke-optiske sensorer trenger strømtilførsel for å måle den elektriske motstanden av en innebygd krets. Disse sensorene har noen ulemper som optisk fiberteknologi ikke har. Optiske fibersensorer har for eksempel mindre størrelse, samt immunitet mot magnetisk påvirkning.

Det er ikke så lang erfaring med optiske sensorer, men det finnes kommersielle sensorer som kan brukes som:

- Strekkklapper
- LVDT

Det finnes forskjellige type av sensorer som kan enten støpes i fersk betong eller monteres på betong-overflate.

I.4 Tidsbruk for installasjon

Sensorer som innstøpes i nye konstruksjoner under byggefasen krever normalt ikke ekstra rigging til utføring av installasjonen.

For installasjon i eksisterende konstruksjoner er det ofte behov for rigging i form lift og/eller stillas for adkomst til monteringsstedet.

I.5 Nøyaktighet og behov for kalibrering

Nøyaktighet

Tabell J-1 viser måleområde og målenøyaktighet til ulike sensorer, mens Tabell J-2 oppsummerer de elektriske egenskapene til sensorene.

Tabell I-1: Måleområde og nøyaktighet til tøyings- og deformasjonssensorer

Sensor	Måleområde	Nøyaktighet
Strekkklapp	≈ 2-5 % egen lengde	2 % måleområdet
LVDT	Fra ± 0,25 mm til ± 500 mm	± 0,25% måleområdet
DEMEC	µm	± 5 µm

Tabell I-2: Elektriske egenskaper til tøyings- og deformasjonssensorer

Sensor	DC V inn (V)	Elektrisk motstand (Ω)	Hva måles
Strekkklapp	1-40	100 til 1000	Spenningsendring (V/V)
LVDT	10	Varierer lineært med forskyvning	0-10 V
DEMEC	-	-	Avstand mellom måleknaster: Digitalt ekstensometer Digital avlesning

Kontroll / Kalibrering

Alle sensorer skal kontrolleres/kalibreres før installering.

Strekkklapp: Etter montering skal $\epsilon (= \frac{L_1 - L_0}{L_0})$ hvor L_1 = Lengde etter bestemt tid, L_0 = Opprinnelig lengde) settes til «0». Deformasjon etter montering tidsregistreres.

- LVDT: Etter montering settes målingsverdi til «0», eller opprinnelig målt lengde tas som referanse.
- DEMEC: Etter montering settes målingsverdi til «0», eller opprinnelig målt lengde tas som referanse.

Egen kalibreringsverdi skal sammenlignes med leverandørens kalibreringssertifikat.

I.6 Levetid

Leverandører har erfaring med forventet levetid. Avhengig av sensortype, miljøbelastning, og tilstanden til konstruksjon, kan sensorenes levetid variere fra få år til noen tiår.

Innstøpte sensorer er ikke eksponert for miljøbelastning, men det er omfattende arbeid å skifte ut sensorene.

Sensorer montert på betongoverflater er eksponert for miljøbelastning. Egenskapene kan dermed bli påvirket, men vedlikehold/utskifting kan forlenge levetiden.

I.7 Modenhet av metoden (Antall leverandører og erfaringer)

Det er god erfaring med strekkklapper, LVDT og DEMEC i betongkonstruksjoner.

Det er begrenset erfaring med optiske fibersensorer.

I.8 Referanser

<https://www.hbm.com/en/0283/contact-norway/>

D C Candappa m.fl., *Complete triaxial stress-strain curves of high-strength concrete*, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol 13, 2001, pp 209-215.

D C Jansen, S P Shah, *Effect of length on compressive strain softening of concrete*, Journal of Engineering Mechanics, Vol 123, 1997, pp 25-35.

B W Russell, N H Burns, *Measurement of transfer lengths on pretensioned concrete elements*, Journal of Structural Engineering, Vol 123, 1997, pp 541-549.

A Mendez m.fl., *Applications of embedded optical fiber sensors in reinforced concrete buildings and structures*, Proc. SPIE 1170, Fiber Optic Smart Structures, 1990, <https://doi.org/10.1117/12.963084>.

C I. Merzbacher m.fl., *Fiber optic sensors in concrete structures: a review*, Optical Fiber Sensor Technology. Optoelectronics, Imaging and Sensing Series, Vol 3. Springer, Boston, USA, 1999, https://doi.org/10.1007/978-1-4757-6077-4_1.

Høringsutkast juni 2022

norsk forening for
betongrehabilitering



tilknyttet



www.betongrehabilitering.net

Postboks 2312 Solli, 0201 Oslo • Telefon: 22 94 75 00