

Feltforsøk - mørtel egnet for katodisk beskyttelse

Beskrivelse av feltforsøket
FoU-programmet Bedre bruvedlikehold 2017 – 2021

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 671



Illustrasjon: Gaute Larsen
Foto: Karla Hornbostel

Tittel

Feltforsøk - mørtel egnet for katodisk beskyttelse

Undertittel

Beskrivelse av feltforsøket, FoU-programmet Bedre bruvedlikehold 2017 – 2021

Forfatter

Karla Hornbostel, Roy E. Antonsen, Stig Henning Helgestad, Odd-Magne Rognan

Avdeling

Fagressurser Drift og vedlikehold

Seksjon

Bru

Prosjektnummer

L10114

Rapportnummer

Nr. 671

Prosjektleder

Bård M. Pedersen

Godkjent av

Bård M. Pedersen

Emneord

Reparasjonsmørtler, katodisk beskyttelse, forsøksfelt, bestandighet

Sammendrag

Statens vegvesen, Vegdirektoratet etablerte i 2019 et feltforsøk ved Tjeldsundbrua i Harstad kommune, Troms og Finnmark fylke for prøving av mørtler brukt til katodisk beskyttelse. I feltforsøket prøves et utvalg av aktuelle tørrsprøytemørtler. Det blir sett på både reparasjonsmørtler og mørtler anbefalt for innsprøyting av anodesystemer i katodiske anlegg. Sentralt i forsøksprogrammet er måling av elektrisk motstand sammen med prøving av katodisk beskyttelse for hver enkelt mørteltype. Motstandsutvikling og virkningsgrader for katodisk beskyttelse vil følges over flere år som funksjon av aldring, og naturlige fuktighets- og temperaturvariasjoner. I tillegg, studeres betydningen av diffusjonsåpen overflatebehandling på sprøytet mørtel mht motstandsutvikling. Parallelt ble alle mørtler prøvet i et eget laboratorieprogram. Rapporten beskriver oppbygging og tilrettelegging av feltforsøket.

Title

Field testing - mortar suitable for cathodic protection

Subtitle

Setup of the field test, The R&D program Better bridge maintenance 2017 - 2021

Author

Karla Hornbostel, Roy E. Antonsen, Stig Henning Helgestad, Odd-Magne Rognan

Department

Planning and Engineering Services

Section

Bridges

Project number

L10114

Report number

No. 671

Project manager

Bård M. Pedersen

Approved by

Bård M. Pedersen

Key words

Repair mortars, cathodic protection, test field, durability

Summary

In 2019, the Norwegian Public Roads Administration established a field test at Tjeldsundbrua in Harstad municipality, Troms and Finnmark county for testing mortars used for cathodic protection. In the field test, a selection of relevant spray mortars is tested. Both repair mortars and mortars recommended for used in cathodic protection systems are considered. Central to the experimental program is the measurement of electrical resistance together with the testing of cathodic protection for each type of mortar. Development of mortar resistance and efficiencies of cathodic protection will be monitored over several years as a function of aging, and natural humidity and temperature variations. In addition, the significance of diffusion-open surface treatment on sprayed mortar regarding resistance development is studied. In parallel, all mortars were tested in a separate laboratory program. The report describes the setup of the field test.

Forord

Rapporten er utarbeidet som en del av FoU-programmet Bedre bruvedlikehold (2017–2021). Bedre bruvedlikehold skal gjennom ny kunnskap bidra til at Statens vegvesen kan optimalisere ressursbruken knyttet til inspeksjon, vedlikehold og forvaltning av bruer.

Bedre bruvedlikehold består av fire prosjekter:

Prosjekt 1: Forvaltningsverktøy for bruer

Prosjekt 2: Armeringskorrosjon i betong

Prosjekt 3: Alkalireaksjoner i betong

Prosjekt 4: Vedlikehold av stålbruer

Bedre bruvedlikehold ledes av Bård Pedersen, Vegdirektoratet.

Denne rapporten tilhører Prosjekt 2: «Armeringskorrosjon i betong» som ledes av Karla Hornbostel. Prosjekt 2 er rettet mot drift og vedlikehold av betongbruer med armeringskorrosjon. Mål for prosjektet er å utarbeide anbefalinger for inspeksjonsmetoder for å utrede omfang av skader på grunn av armeringskorrosjon samt å utvikle verktøy for å kunne bedømme konsekvenser av armeringskorrosjon for bruens levetid. Prosjektet skal også utarbeide et beslutningsgrunnlag for valg av reparasjonstiltak og anbefalinger for gjennomføring av tekniske gode og økonomisk effektive reparasjonstiltak.

Rapporten er skrevet av Karla Hornbostel, Roy Antonsen, Stig Henning Helgestad og Odd-Magne Rognan, og er utarbeidet i delprosjekt 2.2 «Betongrehabilitering ved katodisk beskyttelse». Den gir oversikt over et forsøksfelt for mørtler brukt for katodisk beskyttelse.

Sammendrag

Statens vegvesen, Vegdirektoratet etablerte i 2019 et feltforsøk ved Tjeldsundbrua i Harstad kommune, Troms og Finnmark fylke for prøving av mørtler brukt til katodisk beskyttelse. I feltforsøket prøves et utvalg av aktuelle tørrsprøytemørtler. Det blir sett på både reparasjonsmørtler og mørtler anbefalt for innsprøyting av anodesystemer i katodiske anlegg. Sentralt i forsøksprogrammet er måling av elektrisk motstand sammen med prøving av katodisk beskyttelse for hver enkelt mørteltype. Motstandsutvikling og virkningsgrader for katodisk beskyttelse vil følges over flere år som funksjon av aldring og naturlige fuktighets- og temperaturvariasjoner. I tillegg vil betydningen av diffusjonsåpen overflatebehandling på sprøytet mørtel mht motstandsutvikling bli studert. Parallelt vil alle mørtler bli testet ut i et eget laboratorieprogram. Rapporten beskriver oppbygging og tilrettelegging av feltforsøket.

Innhold

1	Bakgrunn	1
2	Teoretisk bakgrunn.....	2
3	Oversikt prøvingsprogram.....	5
4	Lokasjon av feltforsøket	7
5	Prøvefeltene	8
5.1	Forundersøkelser og forbehandling.....	9
5.2	Etablering og sprøyting av forsøksfeltene.....	10
5.2.1	Oppbygging prøvefeltene	10
5.2.2	Instrumentering	12
5.2.3	Sprøyting av prøvefeltene	16
5.3	Etterbehandling	17
5.4	Sprøytekasser	18
6	Referanser	19
	Vedlegg	1
	Vedlegg A: Motstands og overdekningsmålinger brubetong.....	1
	Vedlegg B: Tegninger prøvefeltene	1
	Vedlegg C: Bilder prøvefeltene.....	1
	Vedlegg D: Elektriker tegninger	1
	Vedlegg E: Datablad Multiringelektrode	1
	Vedlegg F: Datablad Wennerelektrode.....	1

1 Bakgrunn

Betongrehabilitering er et viktig fokusområde for Statens Vegvesen. I 2017 ble det etablert et FoU-program «Bedre bruvedlikehold» som har som mål å utvikle verktøy for å kunne kartlegge og vurdere tilstand til bruer og spesifisere hvilke tiltak som skal iverksettes. Bakgrunnen for programmet er at en stor del av bruene i riks- og fylkesvegnettet har nådd en alder hvor det er behov for tyngre vedlikehold.

Armeringskorrosjon er den desidert største skadetypen som registreres på norske betongbruer. Katodisk beskyttelse er et mulig vedlikeholdstiltak der armeringskorrosjon er påvist. Riktig valg av materialer er avgjørende både med tanke på kost/nytte og varighet av tiltaket.

Ved installasjon av katodisk beskyttelse blir både reparasjonsmørtler (Rep) og mørtler for katodiske anlegg (KB) som oftest tørrsprøytet på konstruksjonen. Samsvar mellom et utvalg laboratorietestmetoder og egenskaper av sprøytetemørtel fra felt undersøkes i dette forsøket.

Det har blitt etablert et feltforsøk der et utvalg av aktuelle produkter ble påført ved sprøyting. Sentralt i forsøksprogrammet er måling av elektrisk motstand og virkningsgraden av katodisk beskyttelse. Motstandsutvikling følges over flere år som funksjon av aldring og naturlige fuktighets- og temperaturvariasjoner. I tillegg studeres betydning av diffusjonsåpen overflatebehandling på sprøytet mørtel mht motstandsutvikling. Elektrisk motstand, trykkfasthet, kapillær absorpsjon og frostbestandighet for de ulike reparasjons- og KB-mørtlene prøves også parallell i laboratoriet.

Rapporten gir informasjonen om design og tilrettelegging av feltforsøket. Resultatene fra laboratorietprogrammet er presentert i SVV rapport 663. Langtidsmålinger av motstand i felt og resultater fra det katodiske anlegget vil blir rapportert i de kommende årene.

Prosjektgruppe for planlegging og gjennomføring av feltforsøket bestå av:

- Karla Hornbostel – Statens vegvesen, Divisjon Drift og vedlikehold
- Roy Antonsen – Statens vegvesen, Divisjon Drift og vedlikehold
- Stig Henning Helgestad – Statens vegvesen, Vegdirektoratet
- Odd-Magne Rognan – Statens vegvesen, Divisjon Drift og vedlikehold

Sprøyting og teknisk etablering av prøvefeltene ble gjennomført av Visinor AS, Bjerkvik. Alle laboratorietundersøkelser ble gjort av Statens vegvesen, Laboratorium sørøst.

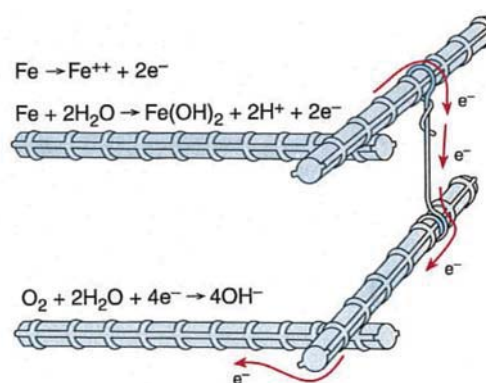
2 Teoretisk bakgrunn

Armeringen i betong er i utgangspunktet beskyttet av en tynn film av jernoksider og jernhydroksider (passivsjikt) som dannes spontant på ståloverflaten på grunn av meget alkalisk poreløsning i betong. Det høye alkalinitet oppstår ved at natrium- og kalsiumoksider er tilstede i sementen, og når disse oppløses i vann dannes hydroksidioner.

Det er i hovedsak to årsaker til armeringskorrosjon, karbonatisering av betong og/eller kloridinntrenging. Karbonatisering av betong kommer av en reaksjon mellom CO₂ fra luften og kalsiumholdige faser i betong. Reaksjonen forårsaker en reduksjon i pH. Passivsjiktet er ikke lenger stabilt under disse forholdene og korrosjon kan starte. Korrosjon på grunn av karbonatisering beskrives som generell korrosjon, og hele ståloverflaten som er i kontakt med karbonatisert betong korroderes. For norske brukonstruksjoner er korrosjon på grunn av karbonatisering sjelden observert på grunn av en høy relativ luftfuktighet i kombinasjon med relativ tette betonger som resulterer i lave karbonatiseringshastigheter.

Armeringskorrosjon på grunn av klorider er mye mer vanlig i Norge og oppstår i hovedsak i to type miljøer, der den ene er saltvanns eksponering fra sjø, mens den andre kommer fra vegsalter. Ved for høye mengder klorider ved armeringen brytes passivfilmen ned og armeringsjernet vil begynne å korrodere. Nedbrytningen av armeringsjernet vil være lokal og medføre tverrsnittsreduksjon.

Armeringskorrosjon er en elektrokjemisk prosess hvor deler av armeringen gir elektroner fra seg som anode i prosessen. På disse deler går stålet i oppløsningen/ruster. Elektronene blir forbrukt på andre deler av armeringen i katodereaksjonen (Figur 1).



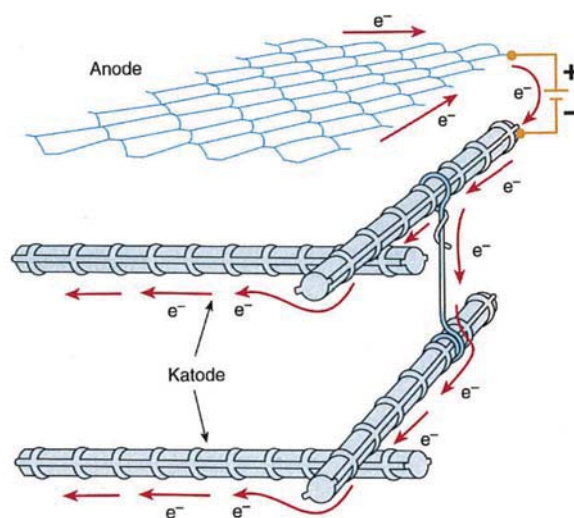
Figur 1 – Elektrokjemiskprosess av armeringskorrosjon (fra (Lindland 2016)).

Rustproduktene som dannes i korrosjonsprosessen kan ha et volum som er 5 – 7 ganger større enn det opprinnelige stålvolumet, noe som medfører at betongen vil kunne sprekke opp og skalle av. Nedbrytningen vil på sikt redusere de mekaniske egenskapene til betongen,

samvirket mellom betong og stål, og konstruksjonens kapasitet. Det må derfor settes i gang tiltak for å stoppe armeringskorrosjonen på en konstruksjon.

I tilfeller hvor det er omfattende armeringskorrosjon og høye kloridnivåer i store deler av konstruksjonen kan katodisk beskyttelse være det eneste langsiktige og effektive tiltaket.

Prinsippet for katodisk beskyttelse går ut på at en ekstern anode skal fordele en beskyttelsesstrøm til armeringen. Armeringen gir ikke elektroner fra seg lengre (ruster) og blir tvert imot negativ ladet, noe som forhindrer/stopper korrosjonsprosessen (Figur 2). Armeringen blir dermed en katode hvor elektroner kun blir forbrukt (derfor kalles prinsippet for «katodisk» beskyttelse).



Figur 2 – Prinsipp for katodisk beskyttelse (fra (Lindland 2016)).

Anoden kan være av forskjellige materialer, type og utforming. Ofte brukes materialer som titan, zink eller grafitt. Anoden blir plassert på betongoverflaten eller i borede hull og støpes eller sprøytes inn med en mørtel. Mørtelen må ha gode heftegenskaper til konstruksjonsbetongen og beskytte anoden mot innvirkninger fra ytre miljø. Det er spesielt viktig at mørtler sikrer god elektrolytisk kontakt mellom anoden og armeringen, ellers vil ikke beskyttelsesstrømmen bli levert til armeringen som dermed kan begynne å ruste igjen. En viktig egenskap for mørtelen er derfor den spesifikke elektriske motstanden, en egenskap som angir evnen til et materiale å motstå gjennomgang av strøm. Det finnes imidlertid få konkrete krav til målemetoder og/eller grenseverdier for elektrisk motstand av mørtler brukt til innsprøyting av anoder i KB anlegg (her omtalt som KB-mørtler). Det samme gjelder for mørtler brukt i reparasjoner forut for installasjon av katodisk beskyttelse (her omtalt som reparasjonsmørtler). Følgende anbefalinger/henvisninger finnes i forskjellige veiledere/standarder:

- **Betongrehabilitering, Reparasjonsmetoder, utførelse og kontroll. Lindland, Jan (2016) Norsk forening for betongrehabilitering, Oslo, Norway:**
«[...] det påføres sprøytemørtel med minimum 20mm tykkelse. Sprøytemørtelen må ikke inneholde silikastøv eller polymere. Det er for å unngå elektrisk motstand over 50 Ω m [...]»
- **Statens Vegvesen R762 – Prosesskode 2 (2019)**
Krav til egenskaper for mørtler, utover minimumskrav i NS-EN 1504-3 (Tabell 88.22-1), Spesifikk elektrisk motstand: 50 % < opprinnelig betong < 200 %, kravet gjelder kun ved mekanisk reparasjon forut for elektrokjemiske behandling.
Målingene utføres iht Håndbok R210, målingene utføres på vannmettede prøvestykker (støpte/utborede) ved lik temperatur for alle prøvestykker.
Videre peker den på NS-EN 12696 når det gjelder krav til selve KB-mørtelen.
- **NS-EN 12696:2012**
“The impact of variations in concrete resistivity on the cathodic protection system shall be considered. There is no firm guidance on limits of electrical resistivity with respect to cathodic protection, but the designer shall consider whether full protection can be achieved where required for the range and absolute values of concrete resistivity found on the structures.”

Kravene per i dag anses ikke som tilstrekkelige for å sikre bruk av riktige materialer i sammenheng med katodiske anlegg. I tillegg er innflytelsen av mørtelens elektriske motstand på strømleveranse i katodiske anlegg ikke tilstrekkelig undersøkt, og det er dermed vanskelig å sette riktige krav. Også effekten av bruk av overflatebehandling etter innsprøyting/mørtling av anodesystemer trenger en mer detaljert forståelse.

Hovedformålet med undersøkelsen presentert i denne rapporten er derfor å se på utforming av prøvestykke, prøvingsmetoder og hensiktsmessige grenseverdier for elektrisk motstand av mørtler brukt i katodiske anlegg, både for reparasjonsmørtler brukt i mekanisk reparasjon forut for installasjon av KB og selve mørtlene brukt for omslutning av anoder. Videre er den overordnede hensikten med forsøket å dokumentere virkningsgrader for katodisk beskyttelse med titan-nett omsluttet av mørtler med forskjellige sammensetninger og dermed varierende elektrisk ledningsevne. Det poengteres at forsøkene beskrevet i denne rapporten i utgangspunktet er planlagt for å forbedre Statens vegvesens egne beskrivelser i anbud.

3 Oversikt prøvingsprogram

Før installasjon av katodisk beskyttelse vil skadet betong i områder med bom og avskallinger, meisles bort, og repareres med en egnet reparasjonsmørtel. Deretter vil KB-systemet installeres, anoden monteres på betongoverflaten og sprøytes deretter inn med en egnet KB mørtel. Det betyr at i noen områder vil beskyttelsesstrømmen gå mellom armering gjennom reparasjons- og KB-mørtelen til anoden, mens i andre områder vill strømmen gå gjennom den opprinnelige brubetongen og KB-mørtelen mellom armering og anoden.

Ved feltprøvingen var det ønsket at begge scenarier prøves, dvs. reparasjonsmørtel i kombinasjon med KB mørtel, og kun KB mørtel. I tillegg blir som oftest overflatebehandling brukt for å beskytte KB anlegget mot ytre miljø (f.eks. frostskafer). Også dette aspektet ble tatt hensyn til i forsøksanordningen. Det ble valgt tre norske leverandører som kunne tilby produkter som egnet seg for installasjon av katodisk beskyttelse, dvs. egnede reparasjons- og KB mørtler samt overflatebehandling. Feltforsøket skal ikke benyttes som dokumentasjon av produkter/systemer eller til markedsføring. Alle produktene er derfor anonymisert.

I feltforsøket ble det opprettet 2 ganger 3 prøvefelt. Ett prøvefelt tilsvarer et område med dimensjoner 2 x 2m, hvor en type mørtelprodukt (KB mørtel) eller to mørtelprodukt i kombinasjon (reparasjons- og KB mørtel) ble sprøytet på en vertikal vegg ved tørrsprøyting. Hver venstre halvdel i hvert prøvefelt ble påført en overflatebehandling anbefalt av leverandørene i kombinasjon med produktene. Hvert prøvefelt er utrustet med sensorteknikk for å følge utvikling og variasjoner av elektrisk motstand (og temperatur) over lengre tid. Per side av hvert prøvefelt er det installert en titan-nett (0,75 m x 0,75 m) som kan styres separat for å studere strømleveranse til armeringen. Detaljert informasjon om prøvefeltene er gitt i avsnitt 5. I tillegg ble det sprøytet kasser til uttak av borekjerner til prøving i laboratoriet. Det ble også tatt ut seks borekjerner av den opprinnelige brubetongen og sent til laboratoriet for analyse.

Tabell 1 – Prøvingsmetoder laboratoriet.

Prøveparameter	Metode	Kortbeskrivelse
Trykkfasthet	EN 14487-1, tabell 8	Trykkfasthet etter metoden for sprøytebetong (utborete kjerner)
Frostbestandighet	CEN/TS 12390-9 Metode 445 i SVV Håndbok R210	Frostbestandighet etter metoden for betong
Kapillær sugehastighet og porøsitet	Metode 426 i SVV Håndbok R210	Begrenset prosedyre for PF metoden
Spesifikk elektrisk motstand	Metode 443 i SVV Håndbok R210	Bestemmelse av resistivitet av vannlagrede og innpakkede prøvestykker

For å kunne kartlegge korrelasjoner mellom felteksponering og prøveplatene sprøytet i felt og prøvestykker tildannet i laboratoriet ved tradisjonelle utstøpningsmetoder, ble det gjennomført et laboratorieprogram parallelt med feltforsøket. Følgende parametere og metoder ble prøvet iht gitt standard i laboratoriet (se Tabell 1 og Tabell 2). Mer informasjon til laboratorieprogrammet finnes i SVV rapport 663.

Prøvingsprogrammet for felt og laboratoriet er oppsummert i prøvematriksen under.

Tabell 2 – Prøvematriks.

Prøvestykke	Herdebetingelser	Lagring	Prøvingsstart (-intervall)	Prøvemetode	I henhold til
Brubetong, betongkjerner	Felt	Vann, etter uttak	Etter uttak (hvert 28 døgn)	Motstand	Metode 443 R210
Forsøksfelt med og uten overflatebehandling	Vannet i flere dager etter sprøyting	Felt	Etter herding (kontinuerlig)	Motstand/temperatur med sensorer og virkningsgrader for katodisk beskyttelse	
Prøvestykker produsert i felt (sprøytekaske) og deretter utboret fra kassene	Tildekket (minst 14 døgn)	Vann	28 døgn	Fasthet	EN 14487-1
			21 døgn	Frost	CEN/TS 12390-9
			28 døgn	PF metode	Metode 426 R210
			28 døgn (hvert 28 døgn)	Motstand	Metode 443 R210
		Innpakket	28 døgn (hvert 28 døgn)	Motstand	Metode 443 R210
Prøvestykker produsert ved tradisjonelle utstøpningsmetoder	Vann*	Vann	28 døgn	Fasthet	EN 14487-1
			28 døgn	PF metode	Metode 426 R210
			28 døgn (hvert 28 døgn)	Motstand	Metode 443 R210

*Herdebetingelser etter avforming ca. 24 timer etter støping

4 Lokasjon av feltforsøket

Som lokasjon for feltforsøket har forankringspilaren ved Tjeldsundbrua i Harstad Kommune (Troms og Finnmark fylke) vist seg å være en egnet kandidat (se Figur 3). Forankringspilaren er plassert på en øy som gjør at feltstasjonen ikke er lett tilgjengelig for allmenheten, og dermed forhåpentligvis sikret mot eventuelt hærverk. Pilaren selv har vist en del korrosjonsskader på nord-siden mens på sør-siden var det få tegn til synlig korrosjon. Dette gjorde det mulig å prøve to varianter for utførelse på samme objekt.



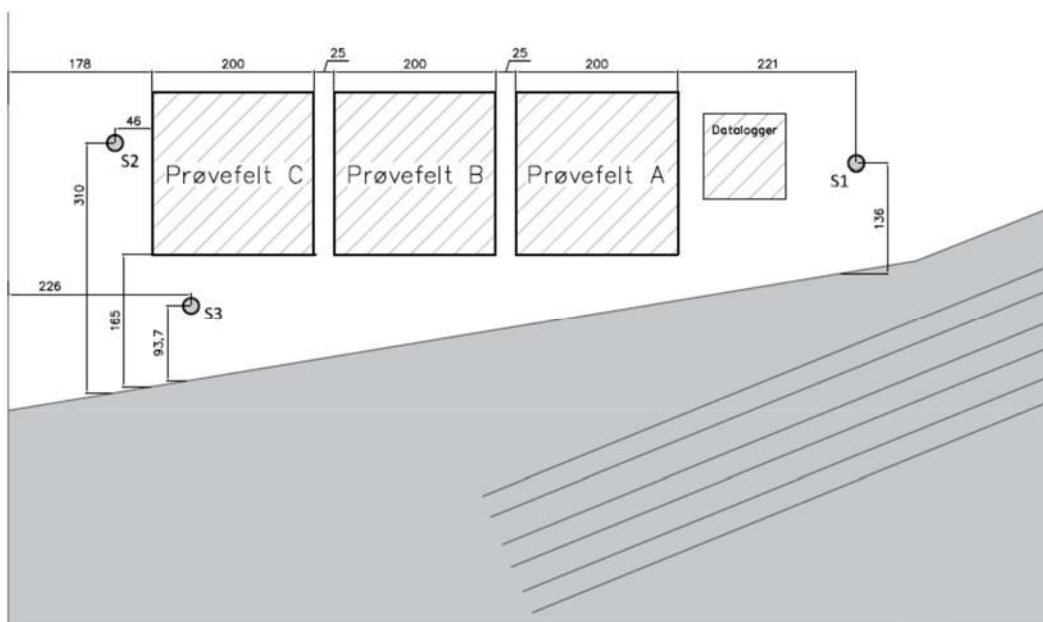
Figur 3– Tjeldsundbrua med forankringspilaren (foto fra www.vegvesen.no)

På nordsiden av forankringspilaren var det registrert en del korrosjonsskader og betongavskaling. Området var derfor egnet til å teste reparasjonsmørtler i kombinasjon med KB mørtler. Det ble meislet til bak armeringen og reparert med reparasjonsmørtel før KB anlegget ble installert og sprøytet inn med KB mørtel.

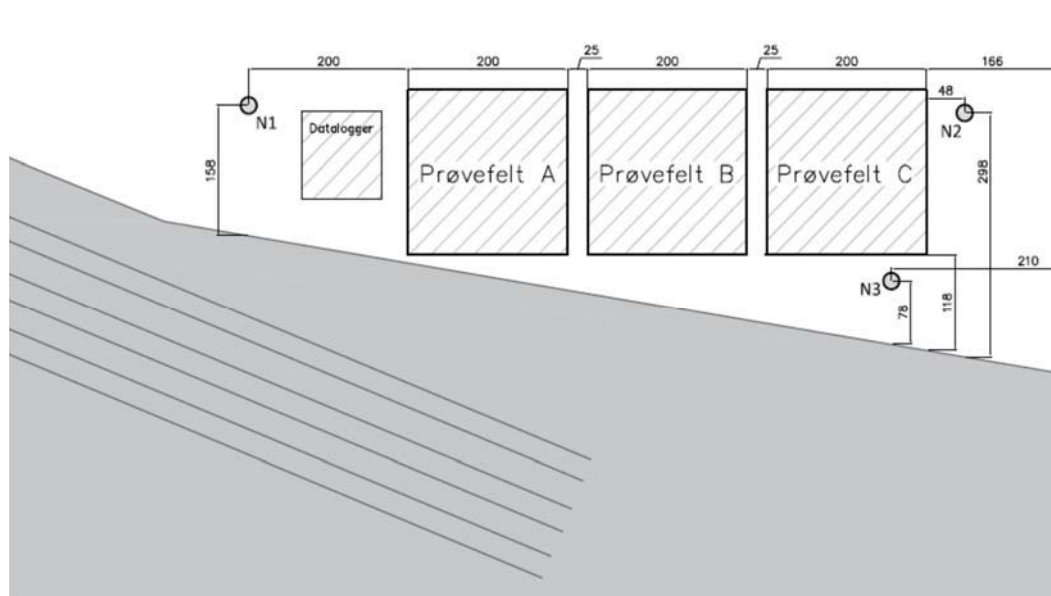
På sørsiden av forankringspilaren var det ikke registrert omfattende skader eller bom. Derfor ble titannettet installert på den opprinnelige betongoverflaten og deretter sprøytet inn med KB mørtel.

5 Prøvefeltene

Det har blitt etablert tre prøvefelt på henholdsvis den nordlige og den sørlige siden av forankringspilaren (se Figur 4 og Figur 5). Hvert prøvefelt har dimensjoner 2 x 2 m og avstand mellom feltene er 0,25 m. For hvert prøvefelt har det blitt brukt mørtler og overflatebehandling fra én og samme leverandør. Prøvefeltene er delt vertikalt i en venstre og en høyreside, hvorav venstresiden har blitt påført en overflatebehandling mens høyresiden ikke har blitt påført noe form for overflatebehandling. Begge sidene av prøvefeltene er ellers like med tanke på instrumentering og utførelse.



Figur 4 – Oversikt prøvefeltene sørside. S1–S3 er lokasjoner til betongkjerne tatt fra brubetongen.



Figur 5 – Oversikt prøvefeltene nordside. N1–N3 er lokasjoner til betongkjerne tatt fra brubetongen.

5.1 Forundersøkelser og forbehandling

Før prøvefeltene ble etablert, ble betongoverflaten dokumentert ved en visuell inspeksjon, overdekning og elektrisk motstand ble målt på alle overflater som skulle benyttes i forsøket. Resultatene er presentert i Vedlegg A.

På nord-siden av forankringspilaren ble all betong 20–40 mm bak første armeringslag fjernet ved håndmeisling (se Figur 6). På sør-siden av forankringspilaren ble betongoverflaten kun sandblåst for å sikre god heft. Det ble benyttet stålsand (grit) som blåsemiddel.



Figur 6 – Meisling bak armering i prøvefeltene på nordsiden.

Etter meisling ble det gjennomført en enkelt visuell inspeksjon av blottlagt armering på nordsiden. Flere steder ble det funnet fremskreden korrosjon.



Figur 7 – Korrodert armering på nordsiden av forankringspilaren.

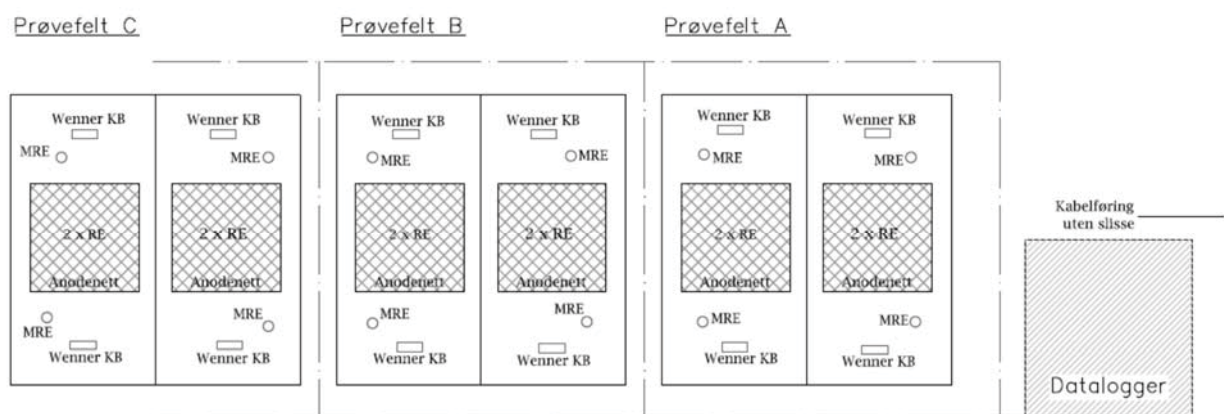
For å undersøke den spesifikke elektriske motstanden av den opprinnelige brubetongen, ble det tatt tre betongkjerner på hver side av pilaren (merket i Figur 4 og Figur 5). Kjernene ble tatt i henhold til SVV håndbok R211 Metode 3.1.3 (desember 2017). Diameter av kjernene var 100 mm. Kjernene ble etter uttak pakket i tett plast og sendt til laboratoriet. I laboratoriet ble det tildannet prøvestykker og innledningsvis ble det målt elektrisk motstand av betongen med det opprinnelige fuktinnholdet ved uttak. Etter de initiale målingene blir prøvene vannlaget (se Tabell 2). Motstand blir deretter målt periodisk til verdiene var stabilt. Resultatene er presentert i SVV rapport 663.

5.2 Etablering og sprøyting av forsøksfeltene

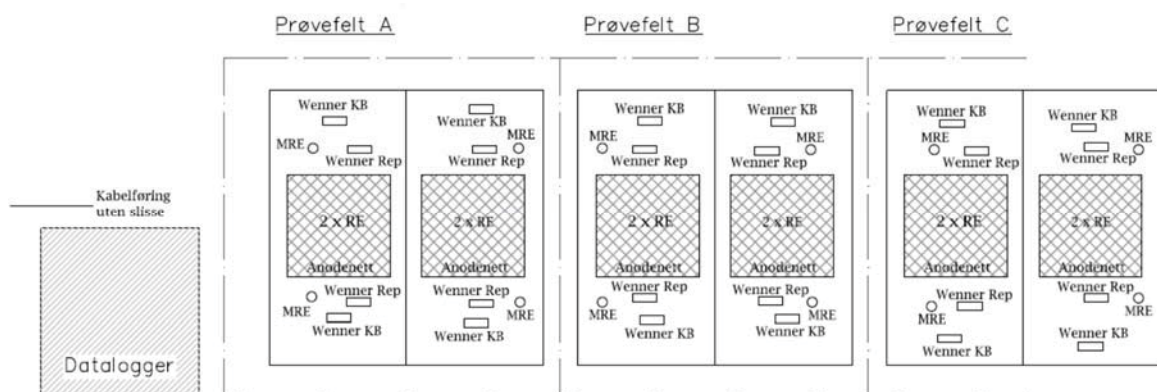
Etter forbehandlingen ble det installert sensorteknikk og det ble tilrettelagt for katodisk beskyttelse. I Vedlegg B og C er det visst detaljerte tegninger og bilder for utformingen av prøvefeltene.

5.2.1 Oppbygging prøvefeltene

Alle prøvefeltene er instrumentert, de respektive venstre- og høyre- sidene er likt instrumentert. I Figur 8 og Figur 9 vises instrumenteringen. «Wenner KB» og «Wenner Rep» står for Wennerelektroder montert henholdsvis i reparasjons- eller KB-mørtel. MRE står for multiringelektrode. Sensorteknikken er forklart i detalj i neste avsnitt. Nøyaktig plassering av sensorene i feltene er vist i Vedlegg B. Hvert felt er instrumentert med sensorer som måler elektrisk motstand på øvre og nedre side av feltet, dette for å skape en redundans og sikkerhet i tilfelle noen av sensorene faller ut. Det er også installert titannett på hver side av prøvefeltet for å «simulere» katodisk beskyttelse. Hvert felt med katodisk beskyttelse (titan nett) er utstyrt med 2 referanseelektroder og 3 armerings-kontakter (se også bilder Vedlegg C).



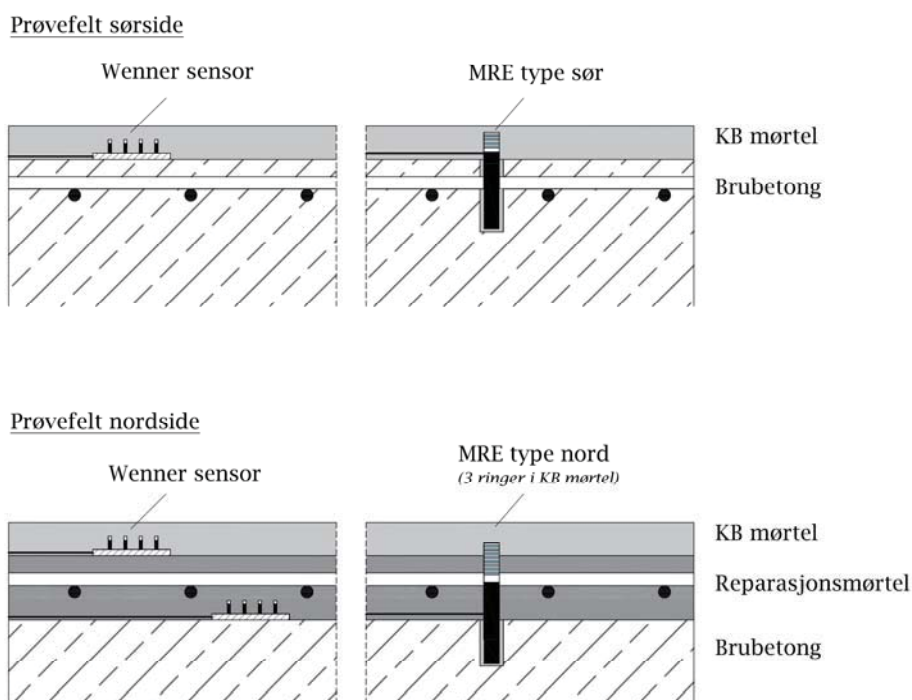
Figur 8 – Instrumentering sørside.



Figur 9 – Instrumentering nordside.

I tillegg til instrumenteringen er det satt av tilstrekkelig med plass på prøvefeltene til å ta borkjern for et utvidet prøvingsprogram seinere i forsøket.

Et tverrsnitt gjennom oppbyggingen av prøvefeltene er vist i Figur 10. Dette er en prinsippskisse, nøyaktig plassering av sensorene kunne ikke fastslås (se anmerkninger i neste avsnitt). På nordsiden ble det meislet til ca. 20–40 mm bak første armeringslag, for deretter å bli sprøytet opp med reparasjonsmørtel til ca. 35 mm over første armeringslag (til opprinnelig betongoverdekning). KB-mørtelen har en tykkelse på mellom 30–40 mm.



Figur 10 – Tverrsnitt av instrumentering i prøvefeltene.

Alle sensorer har blitt koblet til et sentralt overvåkingsanlegg for å sikre kontinuerlige motstands- og temperaturmålinger over en lengre periode, samt styring av KB anlegget (plassering av skapene vises i Figur 8 og Figur 9 «Datalogger»). Resultatene av målingene vil bli kontinuerlig samlet inn og vil seinere blir sammenstilt i en rapport.

5.2.2 Instrumentering

Det ble installert 2 felt med katodisk beskyttelse per prøvelfelt, og det er blitt brukt to typer instrumentering for å kontinuerlig måle elektrisk motstand på prøvelfeltene. Merking av alle kabler og plassering i prøvelfeltene og i skapene er vist i Vedlegg D.

Katodisk beskyttelse

I hvert prøvelfelt ble det installert to titannett (KB felt), henholdsvis på høyre og venstre side. Hvert nett har dimensjoner ca. 75 x 75 cm (det har blitt tatt hensyn til at hvert nett skulle ha eksakt samme total eksponerte areal). Det ble installert to referanseelektroder av type ERE 20 per KB felt, dvs. totalt 4 referanseelektroder per prøvelfelt. Disse er betegnet med «R» med en kode for plassering «1-4» og felt «A-C». Hver referanseelektrode har en egen armeringskontakt betegnet med RN og henholdsvis kode for plassering og felt. I tillegg er det én armeringskontakt for å styre KB anlegget, betegnet med «K» og plassering på feltet henholdsvis «H» for høyre og «V» for venstre og felt «A-C». Titannettet har én kontakt betegnet «A» og kode for plassering «H/V» og felt.

Plassering og installasjon av referanseelektroder, armerings-kontakter og titan nett kan ses i Vedlegg C og er beskrevet i Vedlegg D.



Figur 11 – Frilagt armering for å etablere armeringskontakt, sørside.

På prøvelfeltene på sørsiden ble armerings-kontaktene og referanseelektrodene installert ved å meisle opp deler av brubetongen (se Figur 11). Åpningen ble deretter håndmørtlet igjen etter installasjon. Til dette ble det brukt samme KB mørtel som seinere skulle sprøytes på det samme prøvelfeltet.

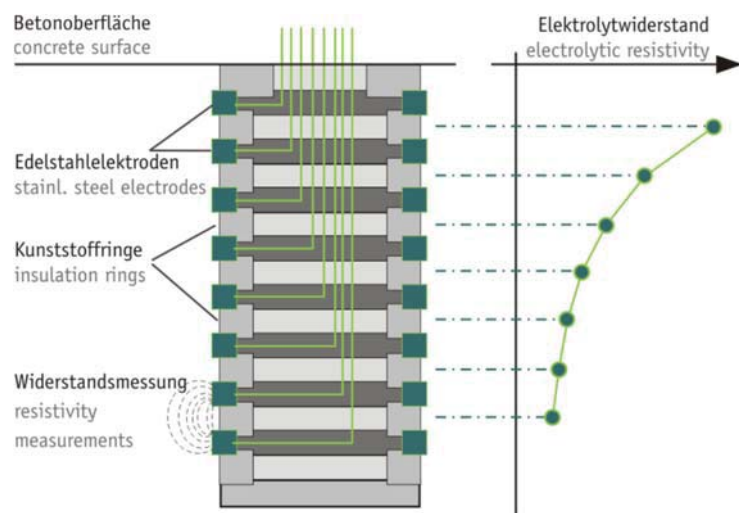
Før/etter sprøyting av mørtel har følgende parametere blitt kontrollert:

- Elektrisk kontakt for alle armerings-kontakter (alle ok)

- Kontinuitet av armering (alle ok)
- Kortslutning mellom RE og armering (ingen kortslutning)
- Kortslutning mellom anode og katode (ingen kortslutning)

Multiringelektroder (MRE)

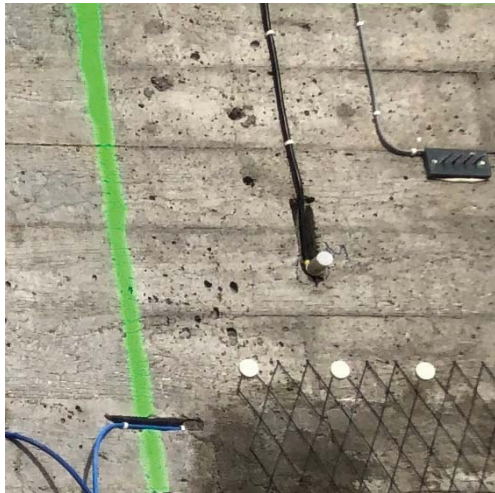
Med en MRE kan den elektriske motstanden måles i forskjellige dybder i betongen (hver 5 mm, oppsett av sensoren er vist i Figur 12). Elektroden er en kommersiell sensor (mer informasjon finnes på (Sensortec 2017), datablad er vedlagt i Vedlegg E). Elektroden kan med fordel installeres i overdekningssonen for å følge fuktighetsforskjeller/-inntrenging, kloridinntrengning, karbonisering og/eller utluting. Ved å studere motstandsprofiler tillates det evaluering av den delen av overdekningsstaket som mest påvirkes av ytere miljø. For feltforsøket er spesielt motstandsendringer fra overflaten og innover i mørtelen av interesse. Så langt forfatterne av rapporten kjenner til, har elektroden hittil ikke blitt brukt i tørrsprøytemørtler.



Figur 12 – Multiring elektrode, d 20 mm, l 50 mm (Sensortec 2017).

For feltforsøket har det blitt produsert spesielt tilpassede elektroder, hvor antall ringer er dimensjonert for bruk i feltforsøket med forskjellig tykkelse av sprøytemørtel. Avstand mellom ringene er som for den kommersielle sensoren (senteravstand 5 mm, ringtykkelse 2,5 mm). MRE har blitt produsert av SENSORTEC GMBH MUNCHEN, TYSKLAND. I Figur 13 vises elektrodene som er blitt brukt på sør- og nordsiden. Elektroden har blitt installert ved å bore et hull i betongen. Hullet ble delvis fylt med en syrefri vinyl-ester som normalt benyttes til forankring av armeringsstag (Mapefix VE-SF). Elektroden ble satt inn i produktet som herdet i løpet av noen få minutter. Elektroden satt godt i betongen gjennom hele sprøyteprosessen. På sørsiden ble MRE-elektroden sprøytet inn med kun KB mørtel. På nordsiden ble nedre del av elektroden sprøytet inn med reparasjonsmørtel, mens den øvre delen ble sprøytet inn med KB-mørtel. For å beskytte elektrodehodet under sprøyting av reparasjonsmørtel ble det brukt

elektrikertape (se Figur 13). Tapen ble fjernet før den resterende delen av elektroden ble sprøytet inn med KB-mørtel.



MRE installert og klargjort til innsprøyting i Reparasjons-mørtel, øvre ringer er beskyttet for seinere å bli sprøytet inn i KB-mørtel.



Øvre ringer klargjort for innsprøyting i KB-mørtel

MRE installert på sørside

MRE installert på nordside

Figur 13 – Multiringelektroder brukt i feltforsøket. Venstreside – MRE installert på sørside, høyreside – MRE installert på nordside.

Det ble installert 4 MRE per prøvefelt. Alle MRE ble oppmålt på prøvefeltene, posisjonen er angitt i tegningene i Vedlegg B (gråe tall som er kursiv ved siden av elektroden er lengden utafor brubetongoverflate). Elektrodene er merket med «MRE» og plasseringsnummer «1-4» samt merking for side «Nord/Sør» og felt «A-C».

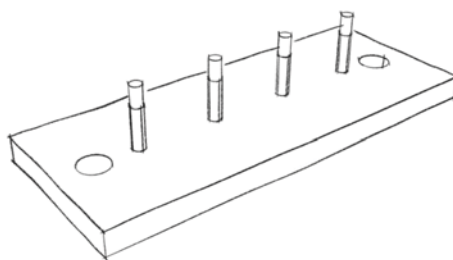
Det må bemerkes at endelig tykkelse av sprøytemørtel over elektroden ikke kunne fastslås ettersom sprøyteoperasjonen og endelig tykkelse kan variere over feltet og er avhengig av

hvor presist det var mulig å sprøyte. Det har ikke blitt gjort kontrollmålinger for å fastslå tykkelsen av sprøytemørtelen over elektroden, på grunn av at dette kunne ha forstyrret materialet rundt elektroden og dermed målingene. Det må bemerkes at det ikke kan antas at målingene med de forskjellige MREs viser samme dybde i mørtelen. Sprøyteoperatøren utførte sporadiske kontroller med en tillaget målepigg som ble stukket inn i den ferske KB-mørtelen etter hvert som det ble sprøytet. Ønsket tykkelse av KB mørtel skulle være 35 mm.

I tillegg til motstand er det også installert en pt1000 temperatursensor i MRE-elektroden som kontinuerlig måler temperaturen.

Wennerelektroder (Wenner)

For å måle elektrisk motstand i «bulk»-materialet ble det i tillegg til MRE også installert en annen type motstandssensor – av type Wennerelektrode. I Figur 14 vises det en prinsippskisse av sensoren. Sensoren består av en grunnplate av PVC med dimensjon 85 x 40 x 8 mm. Sentrisk på platen er det montert fire stålpinner (lengde ca. 20 mm, diameter ca. 3 mm) med senteravstand 20 mm. Kun øverste del (ca. 5 mm) av hver stålpinne er eksponert, mens nedre del er dekket med en krympehylse. Alle stålpinner er elektrisk isolert fra hverandre. Sensoren har blitt produsert av PROTECTOR AS, NORGE. Databladet til sensoren finnes i Vedlegg F.



Figur 14 – Skisse av Wennerelektroden.

Systemet med 4-elektroder ble opprinnelig utviklet for å måle resistivitet av jordbunnen. Det ble foreslått av Frank Wenner og kalles derfor også Wenner-metoden. Den elektriske motstanden måles gjennom de fire elektrodene, – en strøm går mellom de to ytre elektrodene, mens de to midterste måler spenningsfallet ved strømgjennomgang. For mer informasjoner henvises det til litteraturen (Wenner 1915, Gowers and Millard 1999, Angst and Elsener 2014).

I feltforsøket ble sensoren limet på betongoverflaten med et monteringslim (Ulreabond MS rapid). Sensoren satt godt på betongen under hele sprøyteprosessen. På sørsiden ble elektroden sprøytet in i KB-mørtel med en overdekning på minst 10 mm. På nordsiden ble det installert Wennerelektroder i reparasjonsmørtelen ved å lime elektroden på den frimeislede betongoverflaten 20–40 mm bak øverste armeringslag. Elektroden sitter dermed dypt inne i reparasjonsmørtelen, noen mm bak første armeringslag. Sensoren har blitt installert med så lang avstand fra metalliske deler/armering som mulig (se vedlegg C). Etter sprøyting av

reparasjonsmørtelen ble det installert ytterlige Wennerelektroder på nordsiden, for måling av motstand i KB-mørtelen. Også disse har en overdekning med KB-mørtel på minst 10 mm.

Det ble installert 4 Wennerelektroder per prøvefelt på sørsiden. Elektrodene har betegnelsen «WEN» og en plasseringskode «1-4» samt indikasjon for side «SØR» og felt «A-C». På nordsiden er det totalt installert 8 Wennerelektroder per prøvefelt, henholdsvis 4 i reparasjonsmørtel og 4 i KB-mørtel. De har betegnelsen «WEN» og en plasseringskode «1-8» (1-4 for elektroder i reparasjonsmørtel og 5-8 for elektroder i KB-mørtel) samt indikasjon for side «NORD» og felt «A-C».

Det må bemerkes at endelig tykkelse av sprøytemørtel over elektroden ikke kan fastslås ettersom sprøyteoperasjonen og endelig tykkelse kan variere over feltet og er avhengig av hvor presis det var mulig å sprøyte. Det ble ikke gjort kontrollmålinger for å fastslå tykkelsen av sprøytemørtelen over elektroden på grunn at dette kunne ha forstyrret materialet rundt elektroden og dermed målingene. Sprøyteoperatøren benyttet dog en tillaget målepigg, som sporadisk ble benyttet under sprøytingen for å oppnå den tiltenkte tykkelsen av KB mørtel på 35 mm. Det kan ikke gås utfra at målingene av forskjellige Wennerelektroder viser materialenes motstand i eksakt samme dybde. Målingene kan dermed ikke uten videre sammenlignes.



Figur 15 – Wennerelektroden limt på betongoverflaten.

5.2.3 Sprøyting av prøvefeltene

Mørtlene har blitt påført ved tørrsprøyting. Tidspunkter for påføring er vist i Tabell 3. Sprøytingen ble utført i perioder når det ikke var for mye vind (mer enn 5 m/s) og når det ikke regnet direkte på betongoverflatene. Alle flater ble for-vannet i god tid før sprøytingen ble startet og det ble sjekket at flatene var svakt sugende og uten fritt vann før sprøyting startet.

Hver mørtel ble sprøytet i en bredde og høyde på ca. 2 meter. Mellom prøvefeltene er det en overgangssone på ca. 0,25 m som ikke inngår i forsøksprogrammet. På prøvefeltenes nedre og øvre side ble mørtelen sprøytet ut mot null i en viss avstand under/over feltet. Randsoner og overgangssoner mellom forskjellige produkter inngår ikke i forsøksprogrammet. Hvert

prøvefelt består av produkter fra en og samme leverandør. Reparasjonsmørtlene på nordsiden ble sprøytet ut til nivå som opprinnelig betongoverflate. KB-mørtelen ble sprøytet i en tykkelse på ca. 30–40 mm på begge sidene. Ved sprøytingen av de forskjellige mørtelproduktene ble feltene ved siden av dekket til med plate/presenning.

Tabell 3 – Påføringstidspunkt sprøytemørtler.

Side	Produkt	Påføringstidspunkt
Nordside	Reparasjonsmørtel A	10. september 2019 – ettermiddag
	Reparasjonsmørtel B	11. september 2019 – formiddag
	Reparasjonsmørtel C	11. september 2019 – ettermiddag
	KB-mørtel A	15. september 2019
	KB-mørtel B	15. september 2019
	KB-mørtel C	14. september 2019
Sørside	KB-mørtel A	15. september 2019
	KB-mørtel B	15. september 2019
	KB-mørtel C	13. september 2019 – ettermiddag



Figur 16 – Sprøyting av mørtlene, venstre – sørside, høyre – nordside.

5.3 Etterbehandling

De sprøytete overflatene ble ikke beskyttet ved tildekking, men vannet ca. hver 12. time i flere døgn etter sprøytingen. Det var temperatur mellom 10 og 15°C og relativt fuktig vær under oppretning av prøvefeltene.

Tirsdag, den 17.09.2019 ble den sementbaserte overflatebehandlingen påført de ulike mørteloverflatene, etter anbefalinger fra leverandørene. Prøvefeltene ble delt vertikalt i to like store deler, hvor venstresiden har blitt påført overflatebehandling mens høyresiden ikke har blitt påført noen form for overflatebehandling.



Figur 17 - Prøvefeltene med overflatebehandling, venstre - sørside, høyre - nordside.

5.4 Sprøytekasser

Etter at hvert prøvefelt var blitt sprøytet med henholdsvis reparasjons- eller KB- mørtel ble det sprøytet en sprøytekasse per produkt. Kassene ble produsert iht metode 15.5621 i SVV Håndbok R211 (versjon 1997).

Alle kassene ble tildekket etter sprøyting og etter noen få uker transportert til Statens Vegvesens laboratorium i Oslo. I laboratoriet ble det tildannet prøvestykkene for oppfølgende prøving (se Tabell 1 og SVV rapport 663).

6 Referanser

Angst, U. M. and B. Elsener (2014). "On the Applicability of the Wenner Method for Resistivity Measurements of Concrete." ACI Materials Journal **111**(6): 661–672.

Gowers, K. R. and S. G. Millard (1999). "Measurement of Concrete Resistivity for Assessment of Corrosion Severity of Steel Using Wenner Technique." ACI Materials Journal **96**(5): 536–541.

Lindland, J. (2016). Betongrehabilitering, Reparasjonsmetoder, utførelse og kontroll. Oslo, Norway, Norsk forening for betongrehabilitering.

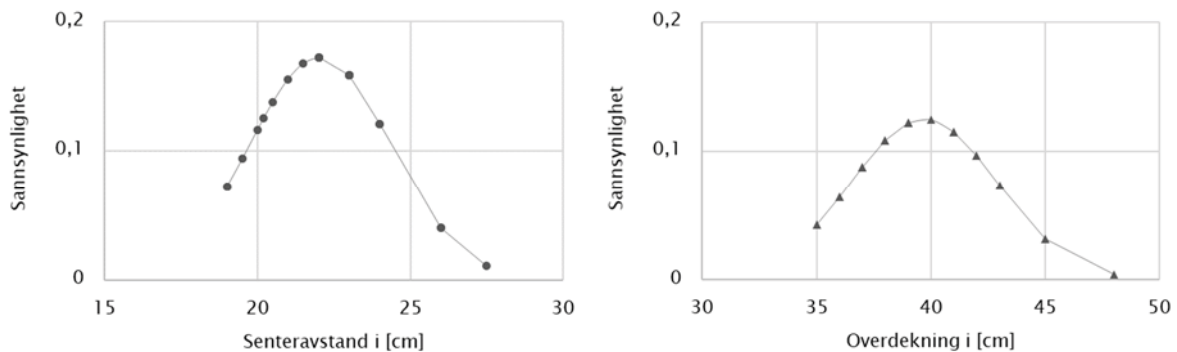
Sensortec. (2017). "<http://www.sensortec.de/sensoren-sensors/multiring-elektrode-multiring-electrode.html> (retrieved 07/06/2017)."

Wenner, F. (1915). A method of measuring earth resistivity. National Bureau of Standards, Bulletin 12 (4), Washington, USA.

Vedlegg

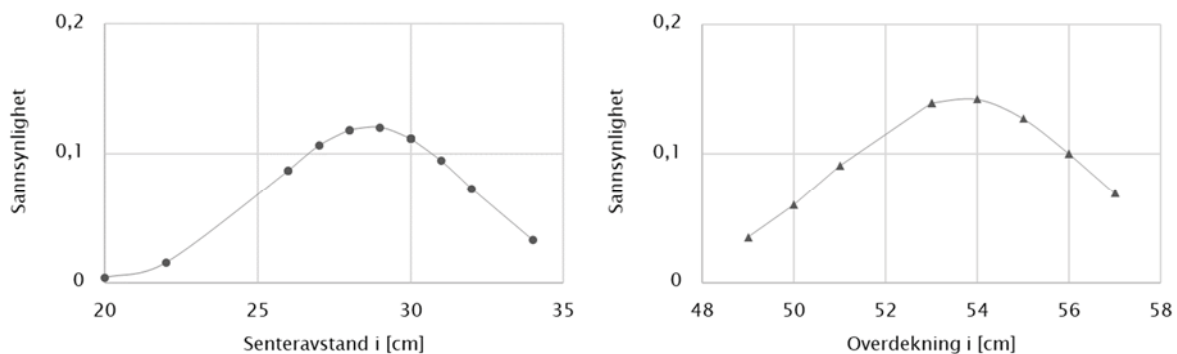
Vedlegg A: Motstands og overdekningsmålinger brubetong

På sørsiden ble overdekningsmålinger utført etter SVV Håndbok R211 Metode 3.3.1 (versjon 2018). Målingene ble utført med et kommersielt instrument og ble brukt for å verifisere byggetegningene. Målinger viste at første armeringslag (horisontal armering \varnothing 20 mm) hadde en gjennomsnittlig overdekning på 40 mm og senteravstand på 22 cm (normalfordeling vises i Figur 18). Ifølge armeringstegningene skulle overdekningen være minst 30 mm med en senteravstand på 22 cm.



Figur 18 – Normalfordeling senteravstand og overdekning horisontal armering sørside.

Vertikalarmeringen (\varnothing 12 mm) hadde en gjennomsnittlig overdekning på 54 mm og senteravstand på 28 cm (normalfordeling vises i Figur 19). Ifølge armeringstegningene skulle senteravstand være på 30 cm.

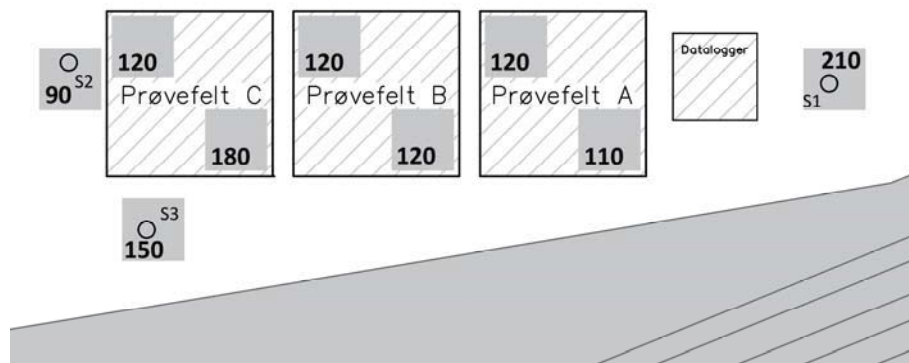


Figur 19 – Normalfordeling senteravstand og overdekning vertikal armering sørside.

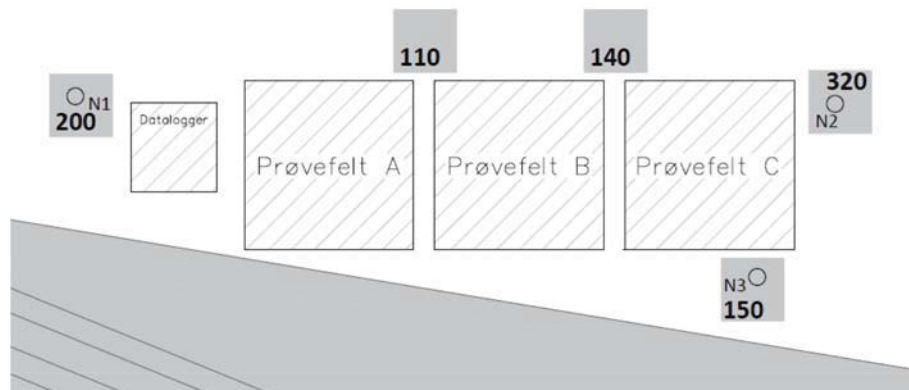
På nordsiden var det første armeringslaget blottlagt etter vannmeisling, se Vedlegg C. Overdekning ble ikke målt før håndmeislingen, stikkprøvemålinger etter håndmeisling viste en overdekning på omtrent 35 mm.

Elektrisk motstand blitt målt fra betongoverflaten med en Wenner probe (PROCEQ Resipod). Målingene ble utført i henhold til brukermanual med fuktige svamper for å sikre god kontakt til betongoverflaten. Det ble målt flere verdier i ett område og gjennomsnittet ble bestemt. Målinger parallelt med armeringen ble unngått. Resultatene er vist i Figur 20 og Figur 21. På

nordsiden kunne det ikke utføres målinger på områder der prøvefeltene ble etablert, siden målingen ble utført etter håndmeislingen.



Figur 20 – Motstandsmålinger sørside forankringspilaren, verdier (fett) i Ωm .



Figur 21 – Motstandsmålinger nordside, verdier (fett) i Ωm . *Det har seinere vist seg at det var delaminering i områder av kjerne N2 som kan forklare høy motstand målt i dette feltet.*

Vedlegg B: Tegninger prøvefeltene

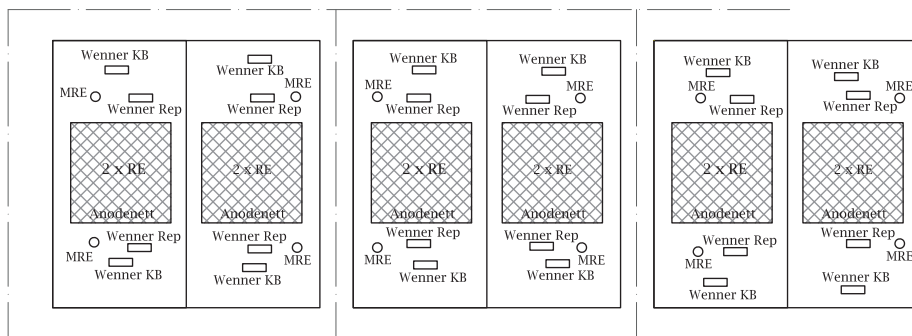
Nordside oppsett

Prøvefelt A

Prøvefelt B

Prøvefelt C

Kabelføring uten slisse

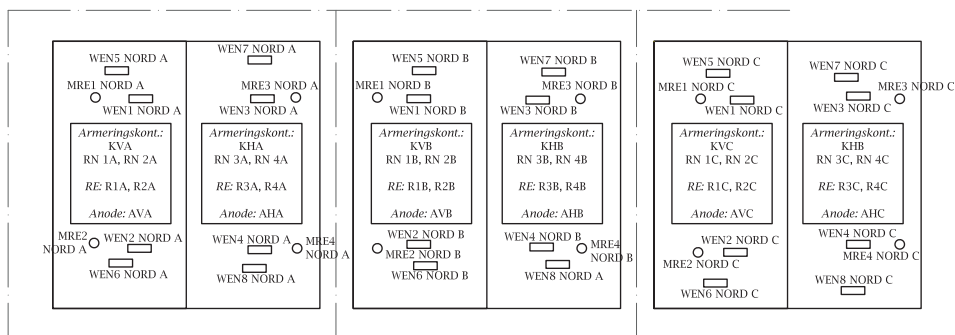


Nordside betegninger

Prøvefelt A

Prøvefelt B

Prøvefelt C

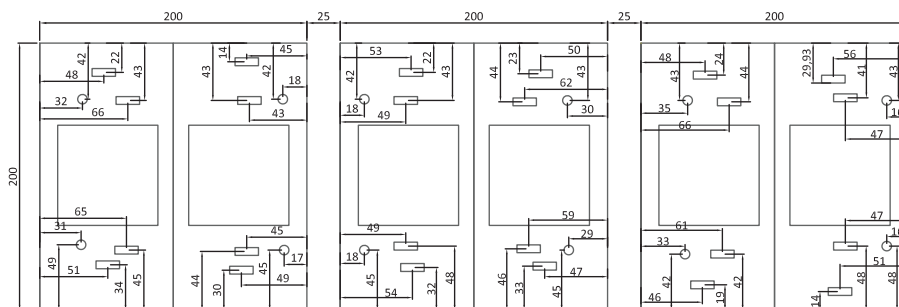


Nordside mål

Prøvefelt A

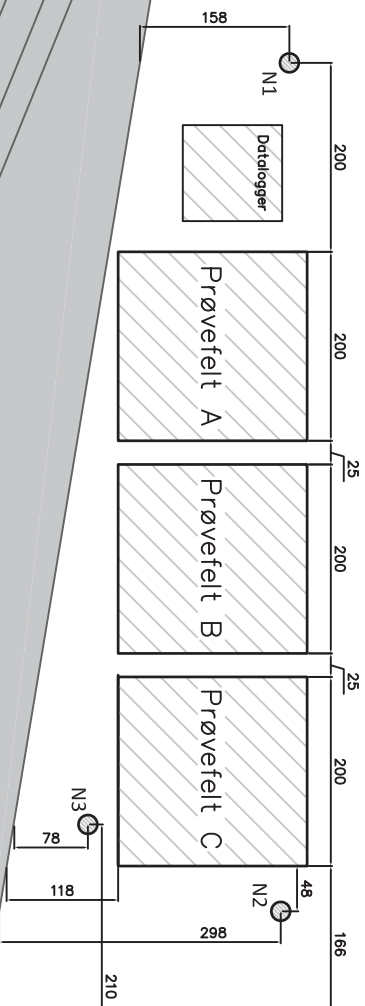
Prøvefelt B

Prøvefelt C




Revisjon	Revisjonen gjelder	Utarb	Kontr	Godkjent	Rev. dato
 Statens vegvesen		Tegningsdato			
		Bestiller			
		Produsert av		Vegdirektoratet, Veg	
		Prosjektnummer		604875	
Prof-nummer					
Arkivreferanse					
Byggeværksnummer		FoU BB			
Målestokk		A1			
Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av	Konsulentarkiv	Tegningsnummer /	1
Karla Hornbostel				revisjonsbokstav	

Nordside oversikt



KB prøvefelt Prøvefelt nordside oversikt 1 : 8 (A4)

Revisjon	Revisjonen gjelder	Utarb	Kontr	Godkjent	Rev. dato
 Statens vegvesen					
Tegningsdato Bestiller Produsert for Produsert av Vegdirektoratet, Veg					
Prosjektnummer 604875 PROF-nummer Arkivreferanse Byggeværksnummer FoU BB Målestokk A1					

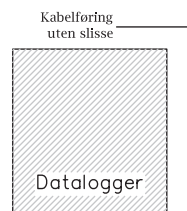
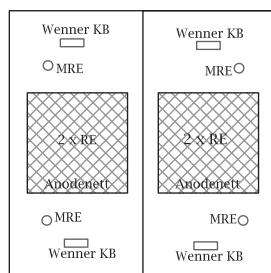
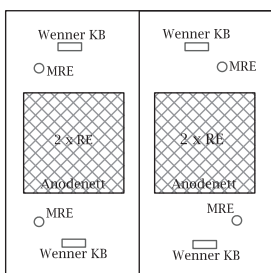
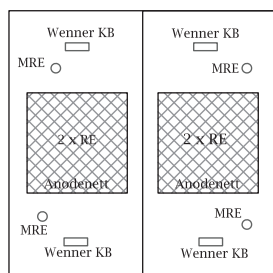
Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av	Konsulentarkiv	Tegningsnummer	revisjonsbokstav
Karla Hornbostel				2	

Sørside oppsett

Prøvefelt C

Prøvefelt B

Prøvefelt A

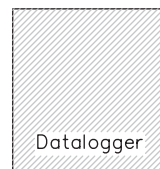
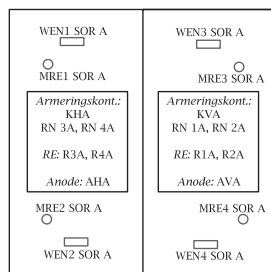
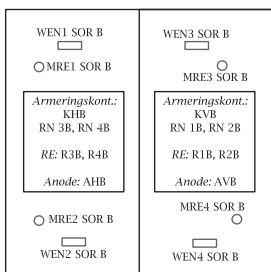
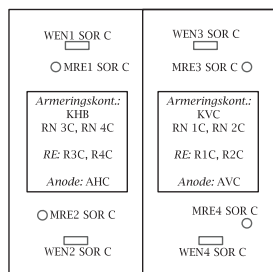


Sørside betegningen

Prøvefelt C

Prøvefelt B

Prøvefelt A

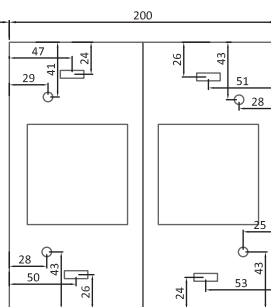
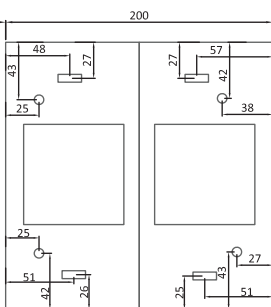
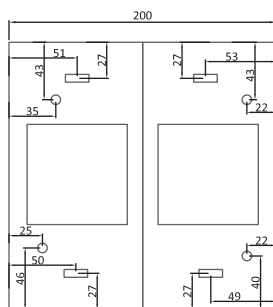


Sørside mål

Prøvefelt C

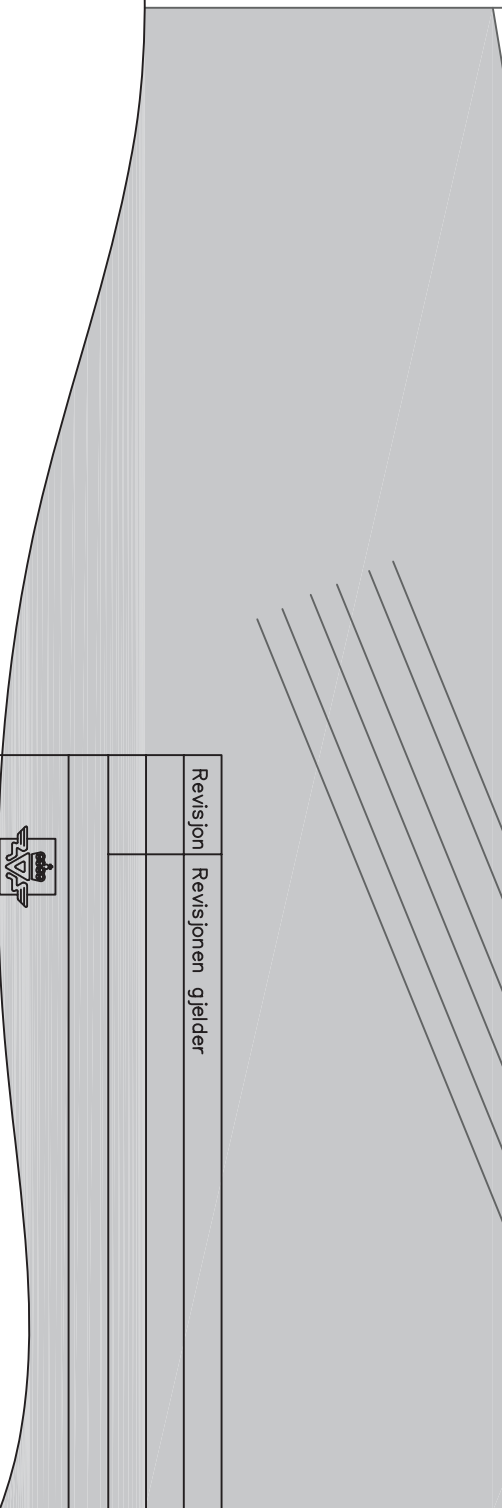
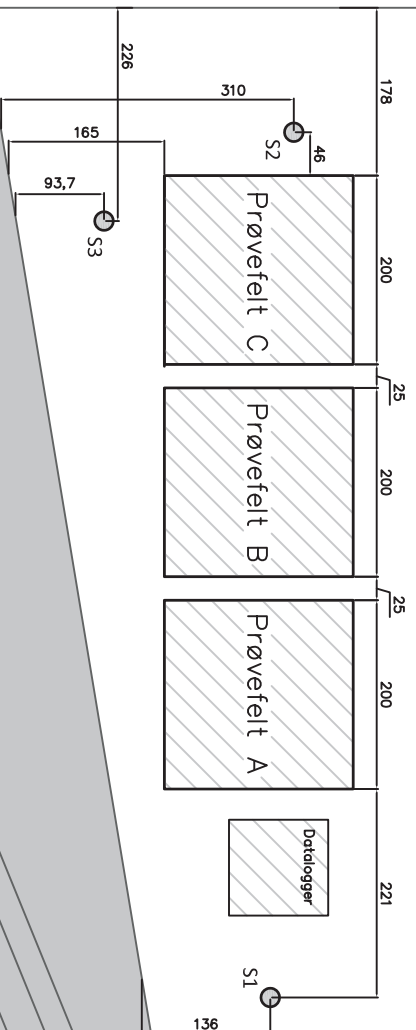
Prøvefelt B


Prøvefelt A



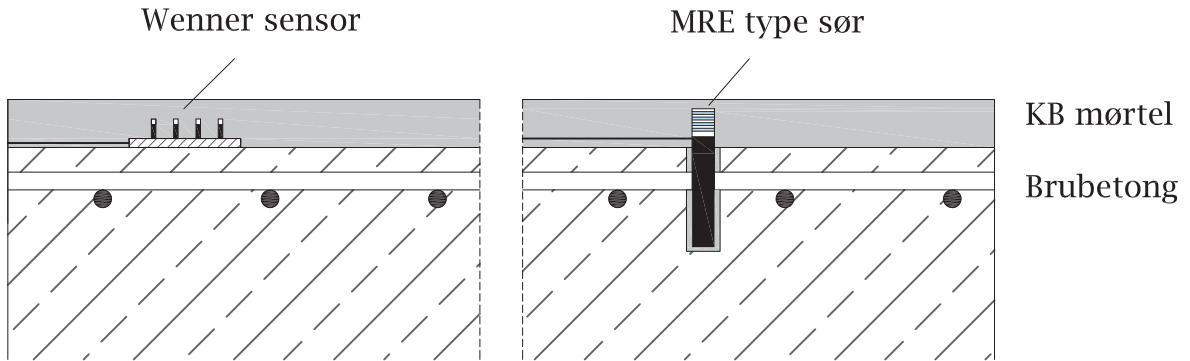
Revisjon	Revisjonen gjelder	Utarb	Kontr	Godkjent	Rev. dato
		Tegningsdato			
		Bestiller			
		Produsert for			
		Produsert av		Vegdirektoratet, Veg	
KB prøvefelt Prøvefeltene sørside 1 : 4 (A3)		Prosjektnummer	604875		
		PROF-nummer			
		Arkivreferanse			
		Byggeværksnummer	FoU BB		
		Målestokk	A1		
Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av	Konsulentarkiv	Tegningsnummer /	3
Karla Hornbøstel				revisjonsbokstav	

Sørside oversikt

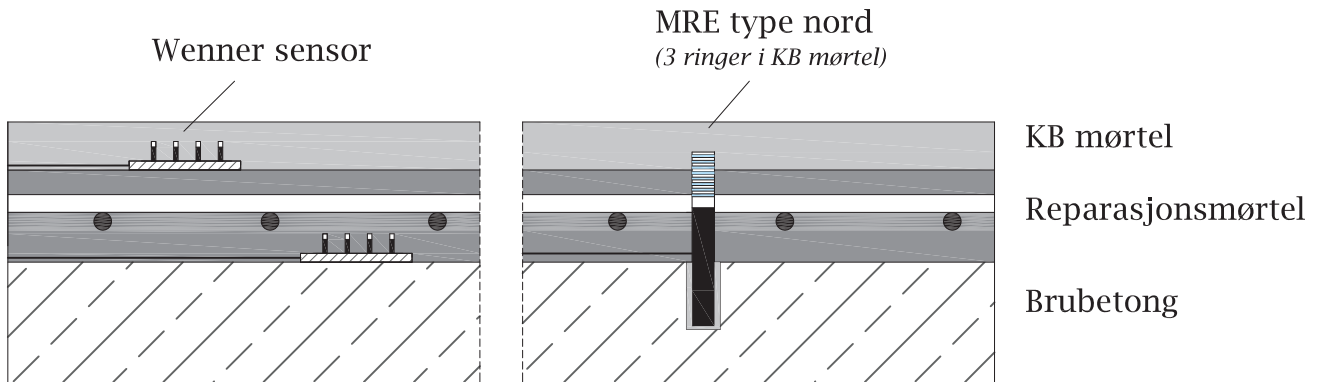


Revisjon	Revisjonen gjelder	Utarb	Kontr	Godkjent	Rev. dato
 Statens vegvesen					
Produsert av					
Vegdirektoratet, Veg					
Prosjektnummer 604875					
PROF-nummer					
Arkivreferanse					
Byggeværksnummer FoU BB					
Målestokk A1					
Tegningsnummer					
revisjonsbokstav					
<h2>Feltprøving KB</h2> <h3>Prøvefelt sørside oversikt</h3> <h1>1 : 8 (A4)</h1>					
Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av	Konsulentarkiv		
Karla Hornbostel					

Prøvefelt sørside



Prøvefelt nordside

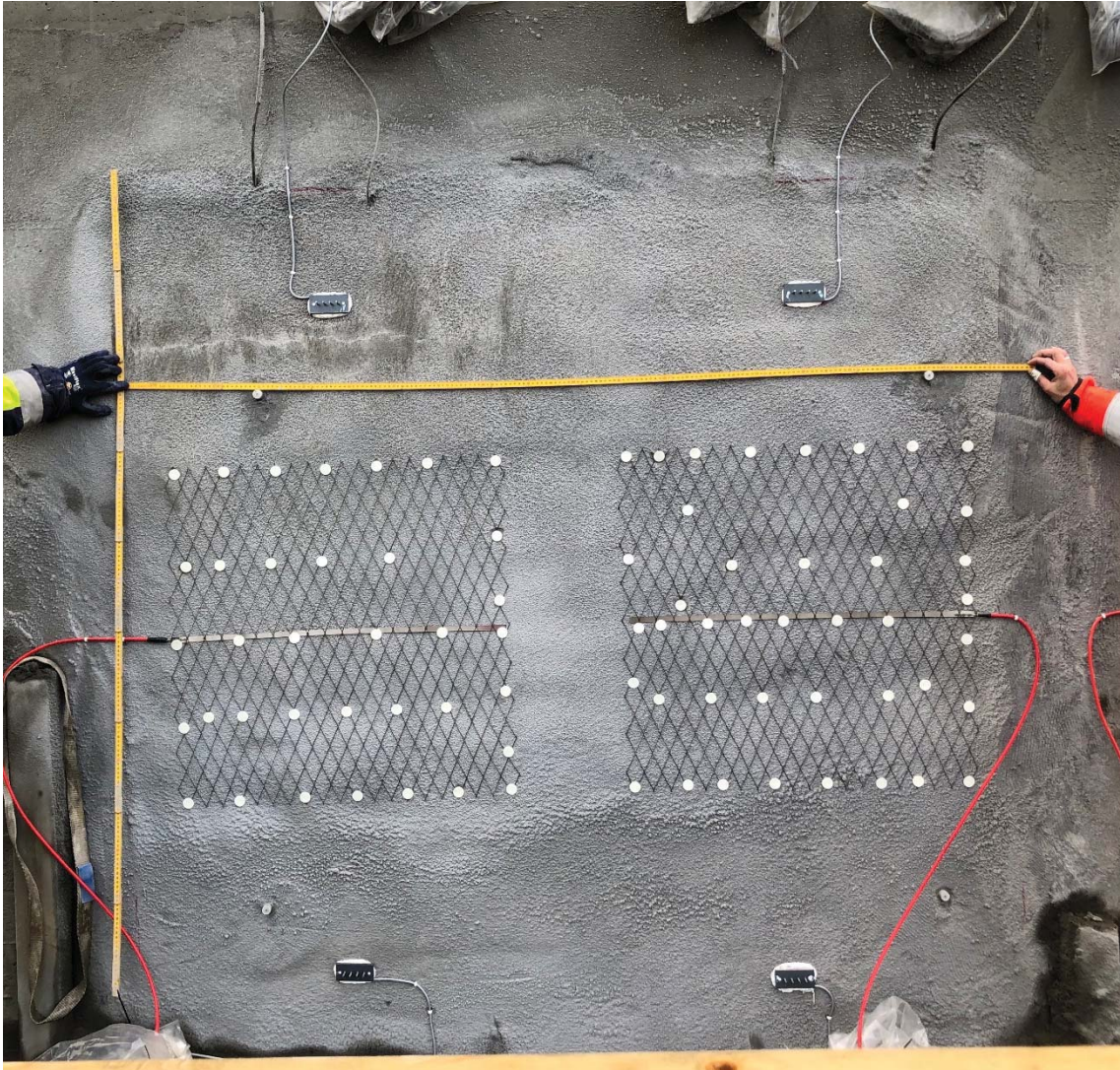


Revisjon	Revisjonen gjelder	Utarb	Kontr	Godkjent	Rev. dato
 Statens vegvesen		Tegningsdato			
		Bestiller			
		Produsert for			
		Produsert av		Vegdirektoratet, Veg	
<p>Feltprøving KB</p> <p>Tverrsnitt instrumentering</p> <p>skisse</p>		Prosjektnummer	604875		
		PROF-nummer			
		Arkivreferanse			
		Byggverksnummer	FoU BB		
		Målestokk	A1		
Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av	Konsulentarkiv	Tegningsnummer /	5
Karla Hornbostel				revisjonsbokstav	

Vedlegg C: Bilder prøvefeltene



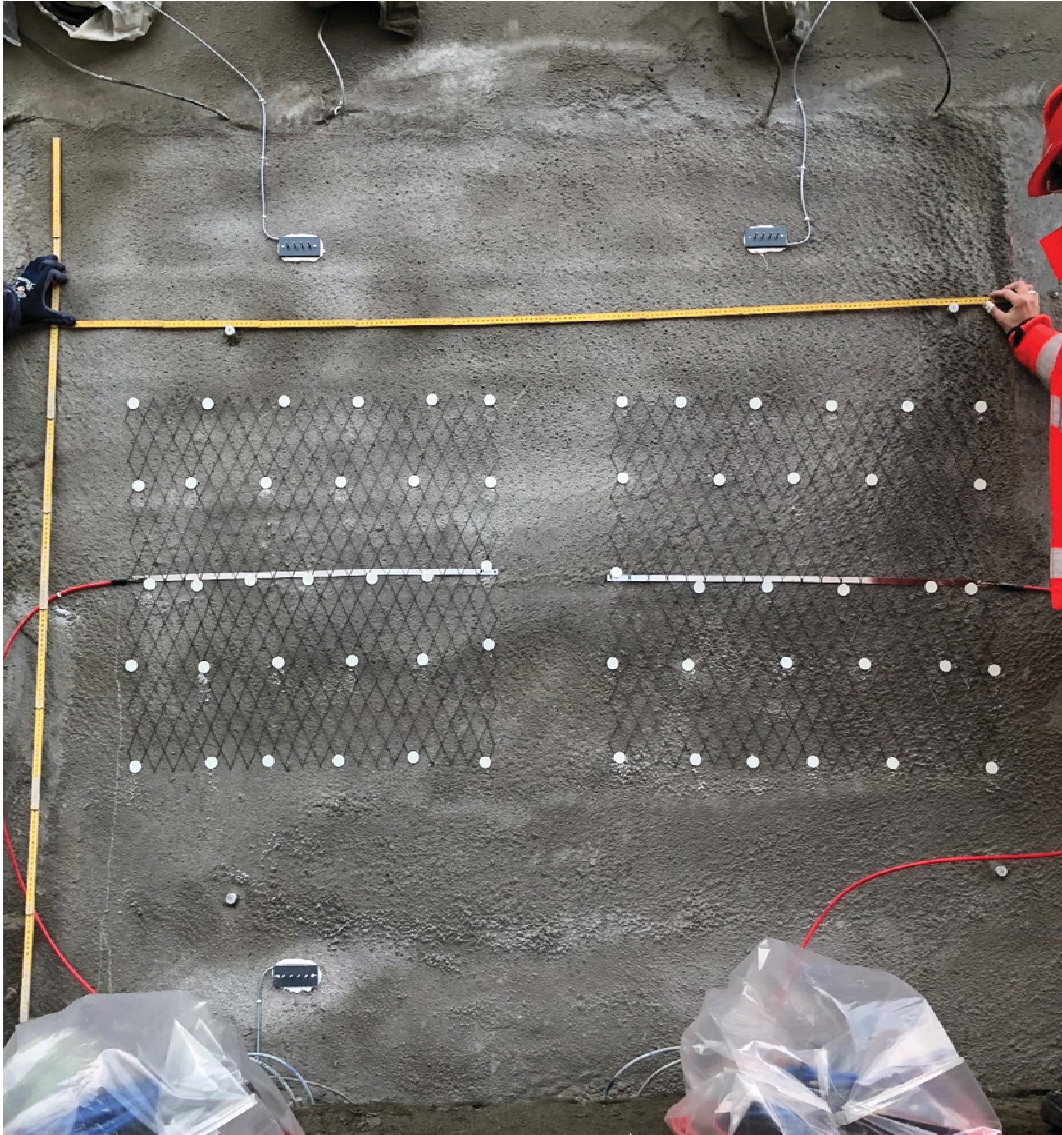
Vedlegg Figur 1 – Nordside Felt A før sprøyting Reparasjons-mørtel.



Vedlegg Figur 2 – Nordside Felt A før sprøyting KB-mørtel.



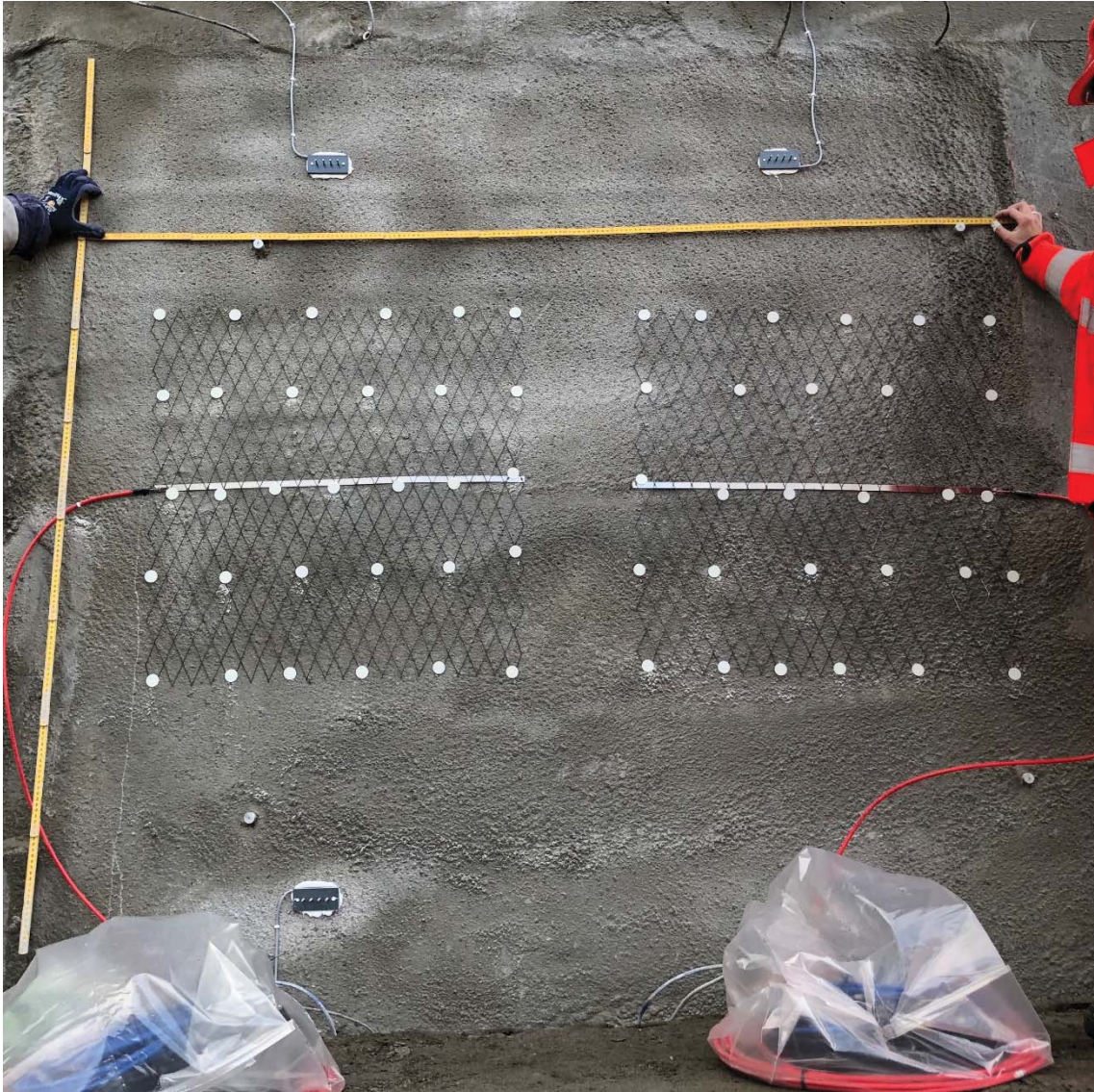
Vedlegg Figur 3 – Nordside Felt B før sprøyting Reparasjons-mørtel.



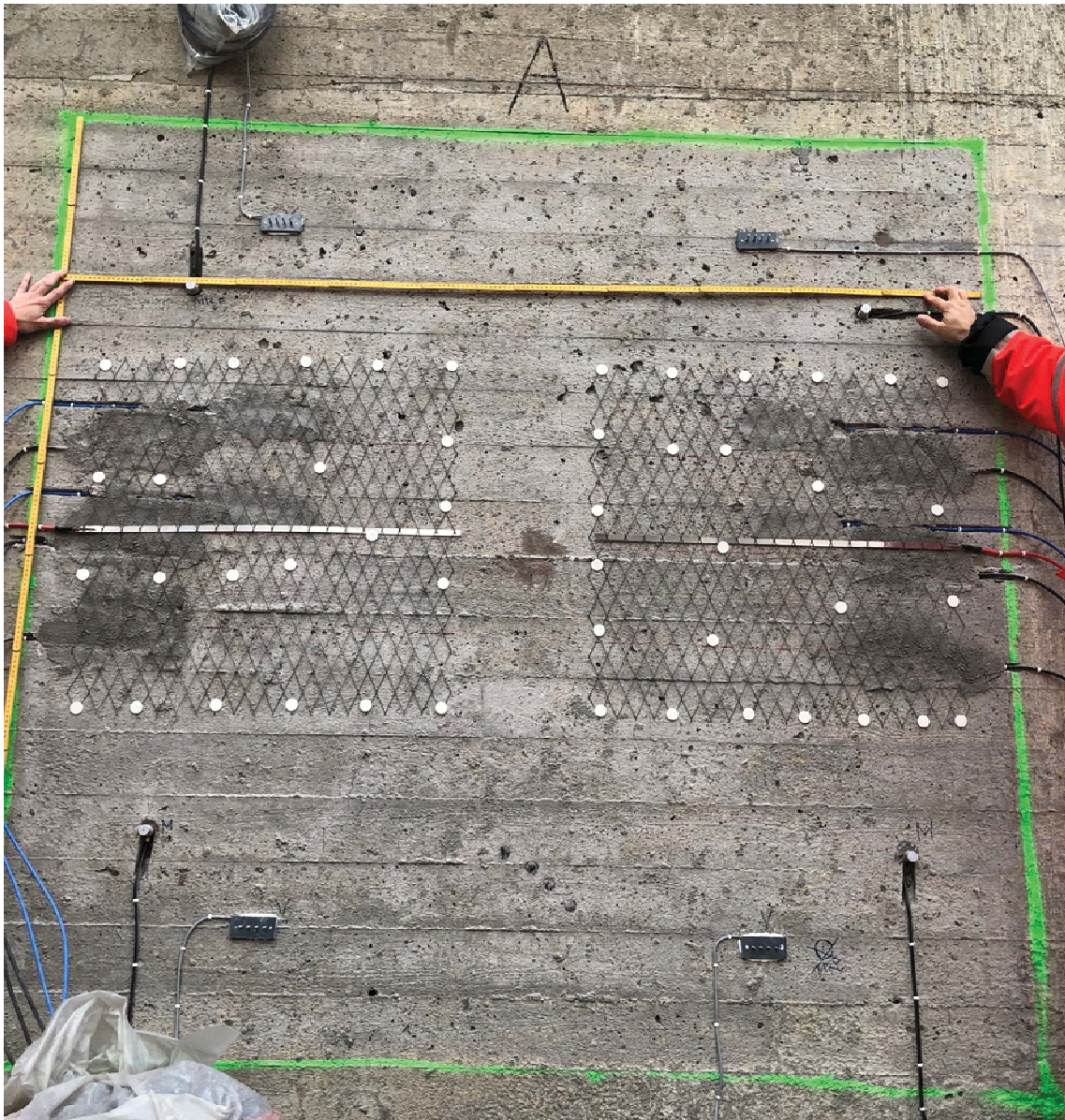
Vedlegg Figur 4 – Nordsiden Felt B for sprøyting KB-mørtel.



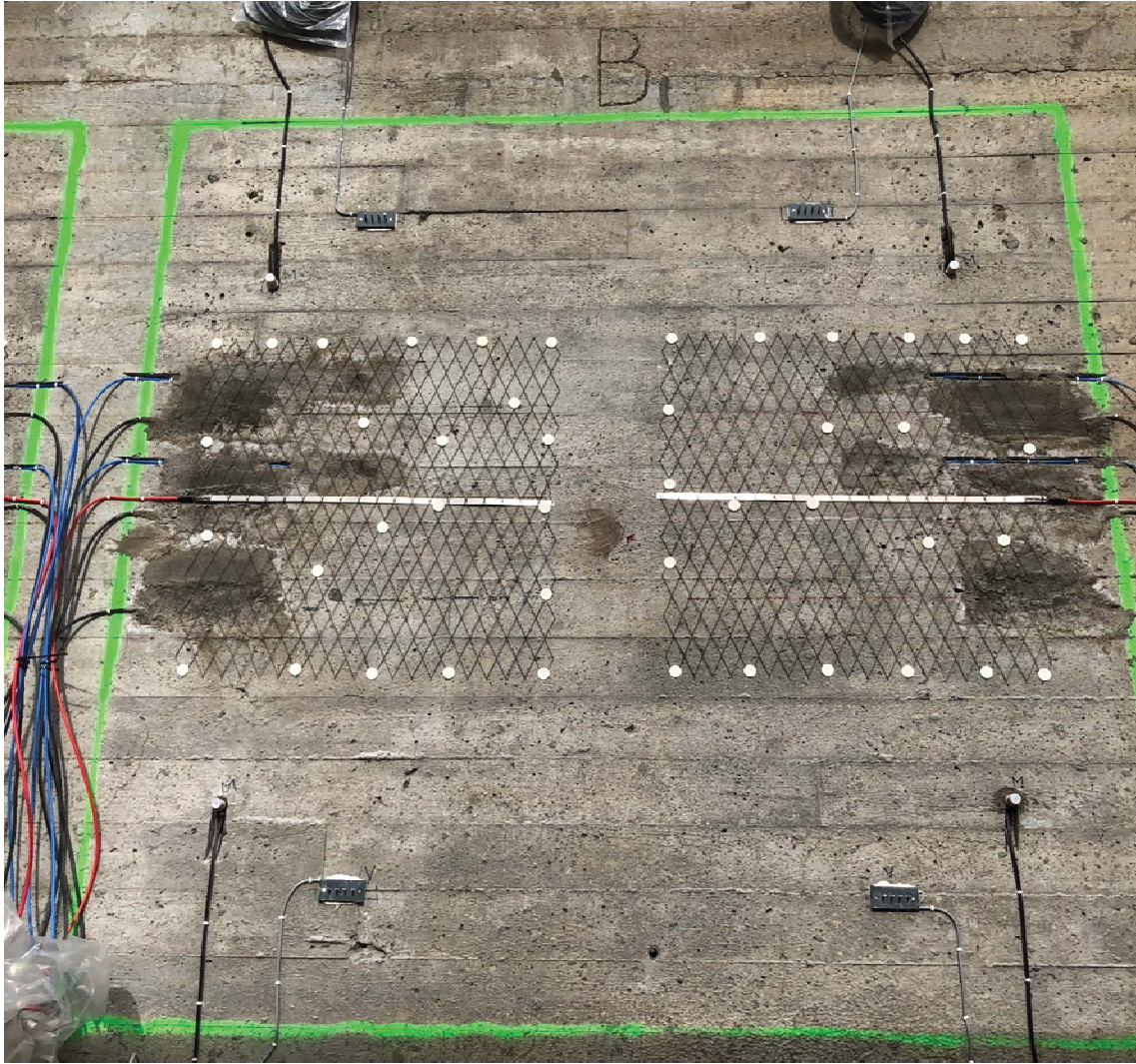
Vedlegg Figur 5 – Nordside Felt C før sprøyting Reb-mørtel.



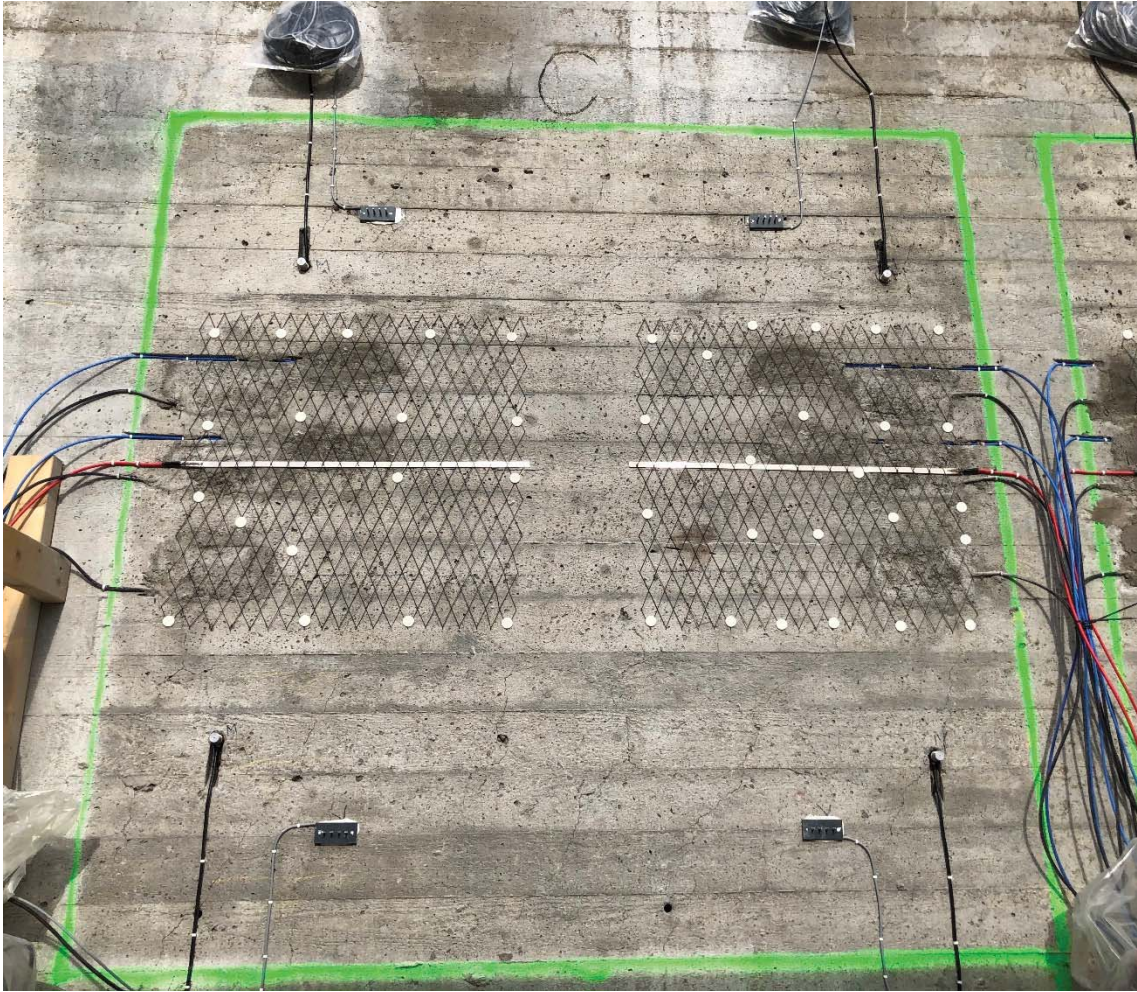
Vedlegg Figur 6 – Nordside Felt C før sprøyting KB-mørtel.



Vedlegg Figur 7 – Sørside Felt A før sprøyting KB-mørtel.



Vedlegg Figur 8 – Sørside Felt B før sprøyting KB-mørtel.



Vedlegg Figur 9 – Sørside Felt C før sprøyting KB-mørtel.

Vedlegg D: Elektriker tegninger

Kobling av MRE-sensorer Tjeldsundbrua feltstasjon NOR

Beskrivelse	Sensorkabel	Rekkeklekke	Kabel til Camur II-node	Input Camur II MRE-node
Elektrode 1	Hvit	1	Hvit	R1
Elektrode 2	Grå	2	Grå	R2
Elektrode 3	Gul	3	Gul	R3
Elektrode 4	Orange	4	Orange	R4
Elektrode 5	Rød	5	Rød	R5
Elektrode 6	Lilla	6	Lilla	R6
Elektrode 7	Blå	7	Blå	R7
Elektrode 8	Grønn	8	Grønn	R8
Pt1000(+)	Brun	Pluss(+)	Brun	P1+
Pt1000(-)	Svart	Minus(-)	Svart	P2-

Elektrode 8 koble mellom Grønn og Pt1000(-)

Svart kabel er ikke til stede

KOBLING AV MRE-SENSOREN

TJELDSUNDBRUA NOR

OPPDRAGSANSVARLIG:
ANDRZEJ RUBCZYNSKI



DATO: 02.11.2019

REV.DATO:

SAKSBEH.:

KONTRO.:

SYSTEME:KATODISKANLEGG

TEGNING NR.: 1

VISINOR REHAB AS



VISINOR

Kobling av MRE-sensorer Tjeldsundbrua feltstasjon SØR

Beskrivelse	Sensorkabel	Rekkeklekke	Kabel til Camur II-node	Input Camur II MRE-node
Elektrode 1	Hvit	1	Hvit	R1
Elektrode 2	Grå	2	Grå	R2
Elektrode 3	Gul	3	Gul	R3
Elektrode 4	Orange	4	Orange	R4
NOT USED	Rød	5	Rød	R5
NOT USED	Lilla	6	Lilla	R6
NOT USED	Blå	7	Blå	R7
Elektrode 8	Grønn	8	Grønn	R8
Pt1000(+)	Brun	Pluss(+)	Brun	P1+
Pt1000(-)	Svart	Minus(-)	Svart	P2-

Elektrode 8 Grønn koble til Pt1000(-)

Svart kabel er ikke til stede

KOBLING AV MRE-SENSOREN

TJELDSUNDBRUA SØR

OPPDRAGSANSVARLIG:
ANDRZEJ RUBCZYNSKI



DATO: 02.11.2019

REV.DATO:

SAKSBEH.:

KONTRO.:

SYSTEME:KATODISKANLEGG

TEGNING NR.: 1

VISINOR REHAB AS



VISINOR

TAG NR	REKE KLEME KOLOR	BOX NR:	FROM TERM BLOCK	TO MOD/CONN	TYPE	FIX VOLT SERIAL NUMBER
1	GREY	KKB 3	XI 1	+	AVA	S/N 00270051
2	GREY	KKB 3	XI 2	-	KVA	S/N 00270051
3	GREY	KKB 3	XI 3	+	AHA	S/N 00270056
4	GREY	KKB 3	XI 4	-	KHA	S/N 00270056
5	GREY	KKB 3	XI 5	+	ABV	S/N 00270054
6	GREY	KKB 3	XI 6	-	KVB	S/N 00270054
7	GREY	KKB 3	XI 7	+	AHB	S/N 00270048
8	GREY	KKB 3	XI 8	-	KHB	S/N 00270048
9	GREY	KKB 3	XI 9	+	AVC	S/N 00270052
10	GREY	KKB 3	XI 10	-	KVC	S/N 00270052
11	GREY	KKB 3	XI 11	+	AHC	S/N 00270047
12	GREY	KKB 3	XI 12	-	KHC	S/N 00270047

TJELDSTUNDBRUA

KOBLING BOKS CONFIGURATION NOR KKB3

OPPDRAKANSVARLIG:

ANDRZEJ RUCZYNSKI

RYBA



DATE: 27.10.2019

REV.DATO :

SAKSBEH:

KONTR. :

SYSTEM: KOBLING BOKS KKB 3

TEGNING NR : 3

VISINOR REHAB AS



VISINOR

TAG NR	REKE KLEMME KOLOR	BOX NR:	FROM TERM BLOCK	TO MOD/CONN	TYPE	CAMTUR II P4 SERIAL NUMBER
1	GREY	KKB 1	XI 1	1+	RN1A	S/N 00787320
2	BLUE	KKB 1	XI 2	1-	RI1A	S/N 00787320
3	GREY	KKB 1	XI 3	2+	RN2A	S/N 00787320
4	BLUE	KKB 1	XI 4	2-	RI2A	S/N 00787320
5	GREY	KKB 1	XI 5	3+	RN3A	S/N 00787320
6	BLUE	KKB 1	XI 6	3-	RI3A	S/N 00787320
7	GREY	KKB 1	XI 7	4+	RN4A	S/N 00787320
8	BLUE	KKB 1	XI 8	4-	RI4A	S/N 00787320
9	GREY	KKB 1	XI 9	1+	RN1B	S/N 00787311
10	BLUE	KKB 1	XI 10	1-	RI1B	S/N 00787311
11	GREY	KKB 1	XI 11	2+	RN2B	S/N 00787311
12	BLUE	KKB 1	XI 12	2-	RI2B	S/N 00787311

TJELDSTUNDBRUA

KOBLING BOKS CONFIGURATION NOR KBI

OPPDRAGSANSVARLIG:

ANDRZEJ RUCZYNSKI

RYBA



DATE: 27.10.2019

REV.DATO :

SAKSBEH:

KONTR. :

SYSTEM: KOBLING BOKS KB 1

TEGNING NR : 1

VISINOR REHAB AS



VISINOR

TAG NR	REKE KLEMME KOLOR	BOX NR:	FROM TERM BLOCK	TO MOD/CONN	TYPE	CAMTUR II P4 SERIAL NUMBER
1	GREY	KKB 1	XI 1	1+	RN1A	S/N 00787310
2	BLUE	KKB 1	XI 2	1-	RI1A	S/N 00787310
3	GREY	KKB 1	XI 3	2+	RN2A	S/N 00787310
4	BLUE	KKB 1	XI 4	2-	RI2A	S/N 00787310
5	GREY	KKB 1	XI 5	3+	RN3A	S/N 00787310
6	BLUE	KKB 1	XI 6	3-	RI3A	S/N 00787310
7	GREY	KKB 1	XI 7	4+	RN4A	S/N 00787310
8	BLUE	KKB 1	XI 8	4-	RI4A	S/N 00787310
9	GREY	KKB 1	XI 9	1+	RN1B	S/N 00787319
10	BLUE	KKB 1	XI 10	1-	RI1B	S/N 00787319
11	GREY	KKB 1	XI 11	2+	RN2B	S/N 00787319
12	BLUE	KKB 1	XI 12	2-	RI2B	S/N 00787319

TJELDSTUNDBRUA

KOBLING BOKS CONFIGURATION SOR KBI

OPPDRAGSANSVARLIG:

ANDRZEJ RUCZYNSKI

RYBA



DATE: 27.10.2019

REV.DATO :

SAKSBEH:

KONTR. :

SYSTEM: KOBLING BOKS KB 1

TEGNING NR : 1

VISINOR REHAB AS




VISINOR

TAG NR	REKE KLEME KOLOR	BOX NR:	FROM TERM BLOCK	TO MOD/CONN	TYPE	CAMTUR II P4 SERIAL NUMBER
1	GREY	KB 2	X1 1	3+	RN3B	S/N 00787311
2	BLUE	KB 2	X1 2	3-	IR3B	S/N 00787311
3	GREY	KB 2	X1 3	4+	RN4B	S/N 00787311
4	BLUE	KB 2	X1 4	4-	IR4B	S/N 00787311
5	GREY	KB 2	X1 5	1+	RN1C	S/N 00787422
6	BLUE	KB 2	X1 6	1-	RI1C	S/N 00787422
7	GREY	KB 2	X1 7	2+	RN2C	S/N 00787422
8	BLUE	KB 2	X1 8	2-	R2C	S/N 00787422
9	GREY	KB 2	X1 9	3+	RN3C	S/N 00787422
10	BLUE	KB 2	X1 10	3-	R3C	S/N 00787422
11	GREY	KB 2	X1 11	4+	RN4C	S/N 00787422
12	BLUE	KB 2	X1 12	4-	IR4C	S/N 00787422

TJELDSTUNDBRUA

KOBLING BOKS CONFIGURATION NOR KB2

OPPDRAKSANSVARLIG:  RYA
 ANDRZEJ RUCZYNSKI

SAKSBEH:

SYSTEM: KOBLING BOKS KB 2


DATE: 27.10.2019

REV.DATO :

KONTR. :

TEGNING NR : 2


VISINOR REHAB AS

 VISINOR

TAG NR	REKE KLEMME KOLOR	BOX NR:	FROM TERM BLOCK	TO MOD/CONN	TYPE	CAMTUR II P4 SERIAL NUMBER
1	GREY	KKB 2	XI 1	3+	RN3B	S/N 00787319
2	BLUE	KKB 2	XI 2	3-	IR3B	S/N 00787319
3	GREY	KKB 2	XI 3	4+	RN4B	S/N 00787319
4	BLUE	KKB 2	XI 4	4-	IR4B	S/N 00787319
5	GREY	KKB 2	XI 5	1+	RN1C	S/N 00787318
6	BLUE	KKB 2	XI 6	1-	RI1C	S/N 00787318
7	GREY	KKB 2	XI 7	2+	RN2C	S/N 00787318
8	BLUE	KKB 2	XI 8	2-	R2C	S/N 00787318
9	GREY	KKB 2	XI 9	3+	RN3C	S/N 00787318
10	BLUE	KKB 2	XI 10	3-	R3C	S/N 00787318
11	GREY	KKB 2	XI 11	4+	RN4C	S/N 00787318
12	BLUE	KKB 2	XI 12	4-	IR4C	S/N 00787318

TJELDSTUNDBRUA

KOBLING BOKS CONFIGURATION SOR KB2

OPPDRAKSANSVARLIG:  RYA
 ANDRZEJ RUCZYNSKI

SAKSBEH:

SYSTEM: KOBLING BOKS KB 2


DATE: 27.10.2019

REV.DATO :

KONTR. :

TEGNING NR : 2

VISINOR REHAB AS



VISINOR

TAG NR	REKE KLEMME KOLOR	BOX NR:	FROM TERM BLOCK	TO MOD/CONN	TYPE	FIX VOLT SERIAL NUMBER
1	GREY	KKB 3	XI 1	+	AVA	S/N 00270058
2	GREY	KKB 3	XI 2	-	KVA	S/N 00270058
3	GREY	KKB 3	XI 3	+	AHA	S/N 00270057
4	GREY	KKB 3	XI 4	-	KHA	S/N 00270057
5	GREY	KKB 3	XI 5	+	ABV	S/N 00270055
6	GREY	KKB 3	XI 6	-	KVB	S/N 00270055
7	GREY	KKB 3	XI 7	+	AHB	S/N 00270049
8	GREY	KKB 3	XI 8	-	KHB	S/N 00270049
9	GREY	KKB 3	XI 9	+	AVC	S/N 00270050
10	GREY	KKB 3	XI 10	-	KVC	S/N 00270050
11	GREY	KKB 3	XI 11	+	AHC	S/N 00270053
12	GREY	KKB 3	XI 12	-	KHC	S/N 00270053

TJELDSDUNDBRUA

KOBLING BOKS CONFIGURATION SOR KBB

OPDRAGSANSVARLIG:

ANDRZEJ RUCZYNSKI

RYBA



DATE: 27.10.2019

REV.DATO :

SAKSBEH:

KONTR. :

SYSTEM: KOBLING BOKS KB 3

TEGNING NR : 3

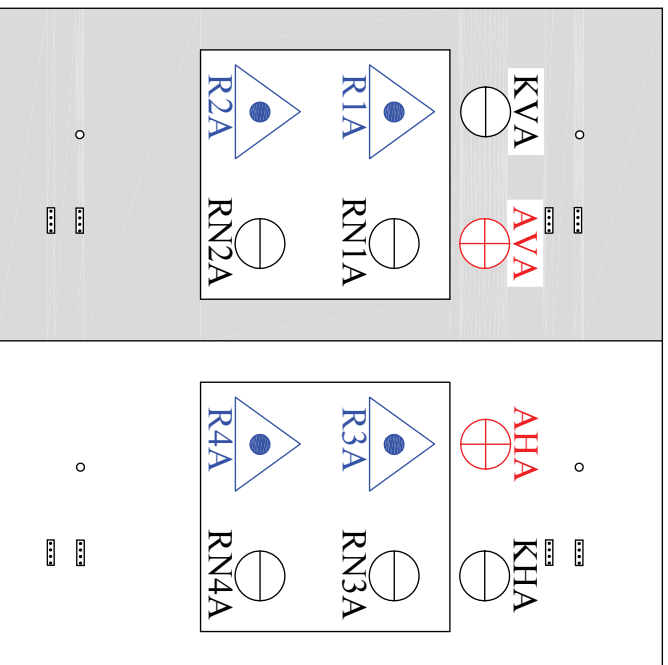
VISINOR REHAB AS



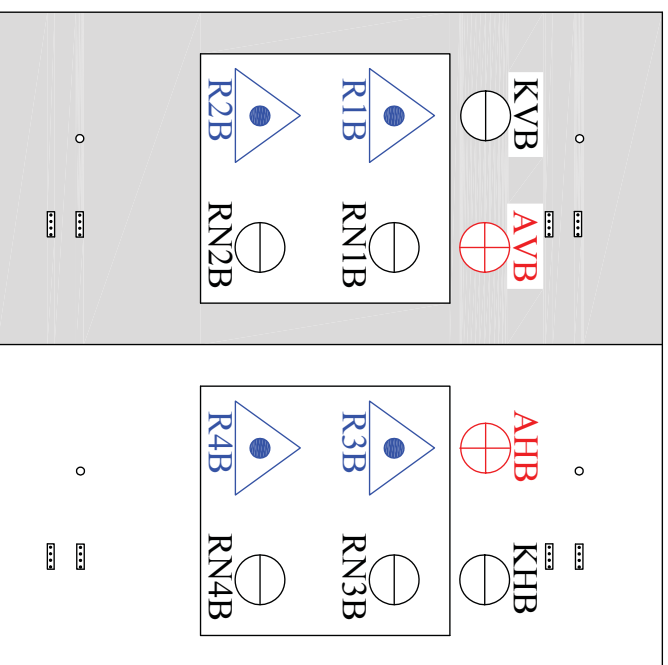
VISINOR

Nord-side av prøvelfelt

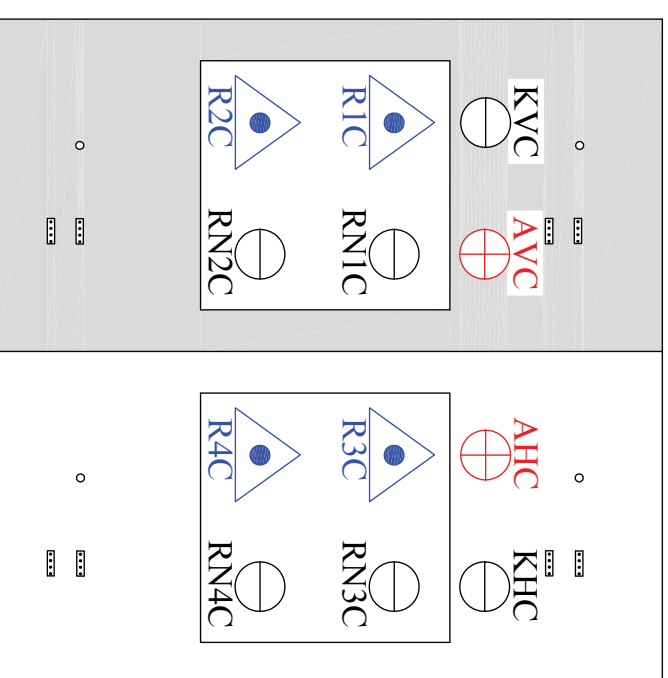
A



B



C



PLASERING ANODE KATODE OG REFS

TJELDSDUNDBRUA

OPPDRAGSANSVARLIG:

ANDRZEJ RUBCZYNSKI RYBA



DATO: 30.09.2019

REV.DATO:

KONTR.:

SAKSBEH:

SYSTEM. KATODISKANLEGG

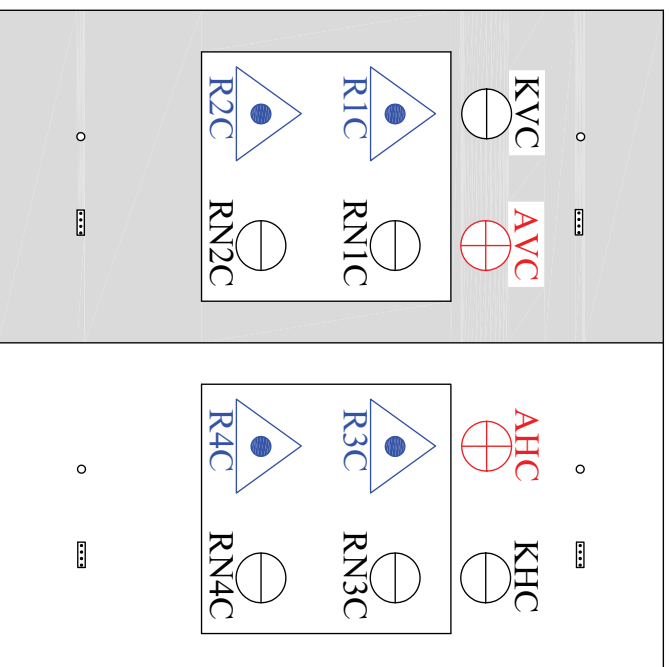
TEGNING NR.: NORD FELD

VISINOR REHAB AS

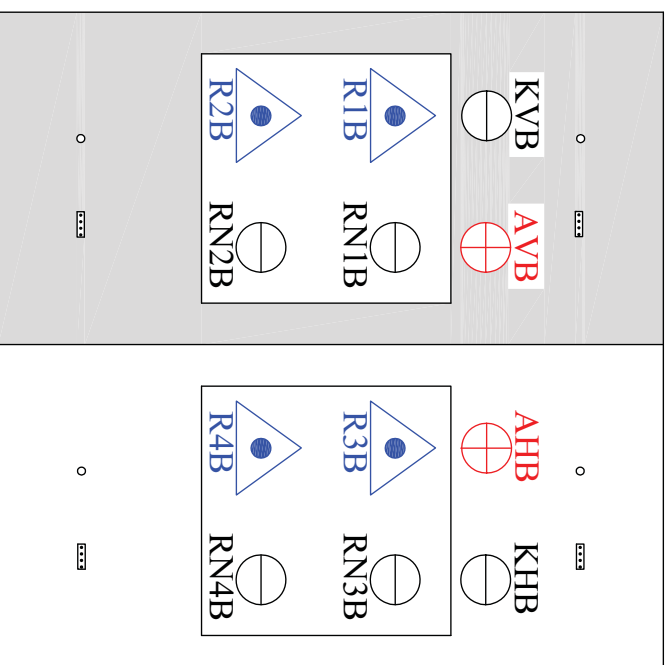


VISINOR

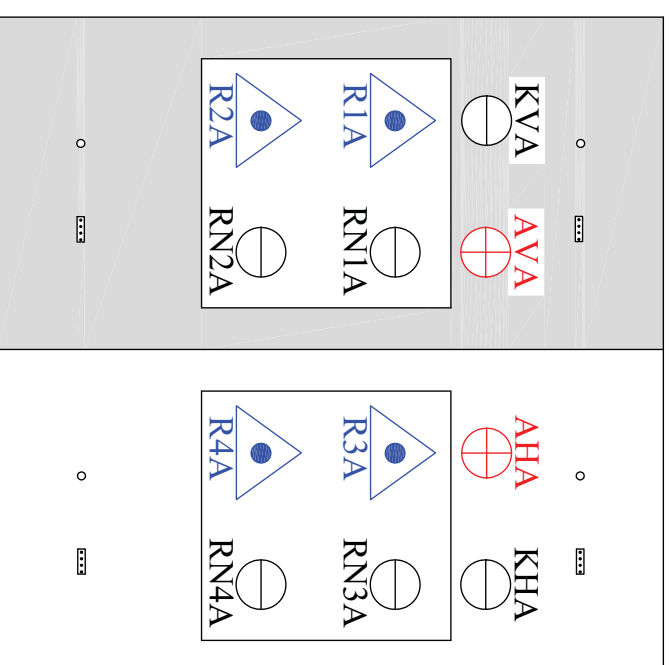
C



B



A



PLASERING ANODE KATODE OG REFS

TJELDSUNDBRUA

OPPDRAGSANSVARLIG:
ANDRZEJ RUBCZYNSKI RYBA



SAKSBEH:

SYSTEM: KATODISKANLEGG

DATO: 30.09.2019

REV.DATO:

KONTR.:

TEGNING NR: SØR FELD

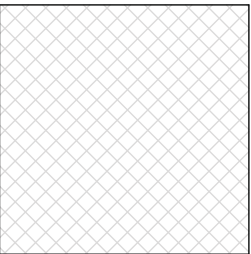
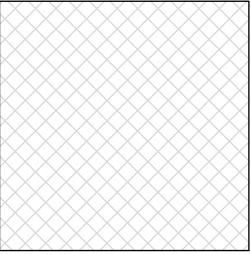
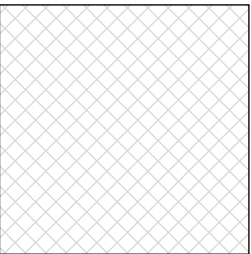
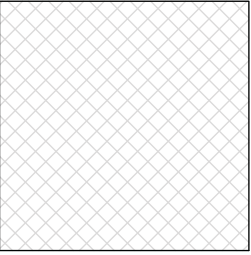
VISINOR REHAB AS



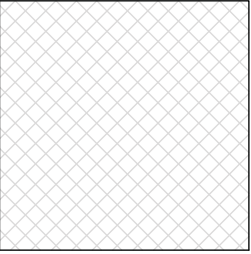
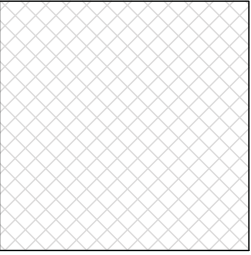
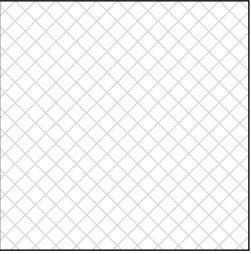
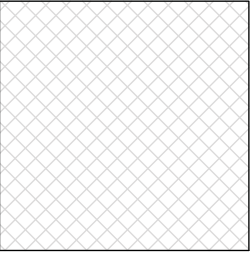
VISINOR

Nord-side av prøvelfelt

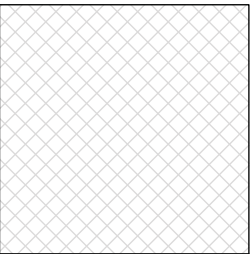
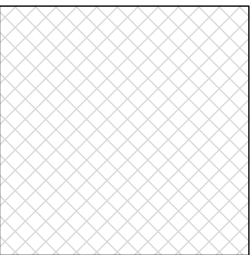
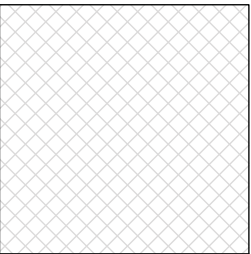
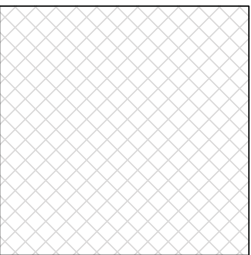
A

<p>MRE1 NORD A ◦ WEN5 NORD A WEN1 NORD A</p> 	<p>MRE3 NORD A ◦ WEN7 NORD A WEN3 NORD A</p> 
<p>MRE2 NORD A ◦ WEN6 NORD A WEN2 NORD A</p> 	<p>MRE4 NORD A ◦ WEN8 NORD A WEN4 NORD A</p> 

B

<p>MRE1 NORD B ◦ WEN5 NORD B WEN1 NORD B</p> 	<p>MRE3 NORD B ◦ WEN7 NORD B WEN3 NORD B</p> 
<p>MRE2 NORD B ◦ WEN6 NORD B WEN2 NORD B</p> 	<p>MRE4 NORD B ◦ WEN8 NORD B WEN4 NORD B</p> 

C

<p>MRE1 NORD C ◦ WEN5 NORD C WEN1 NORD C</p> 	<p>MRE3 NORD C ◦ WEN7 NORD C WEN3 NORD C</p> 
<p>MRE2 NORD C ◦ WEN6 NORD C WEN2 NORD C</p> 	<p>MRE4 NORD C ◦ WEN8 NORD C WEN4 NORD C</p> 

PLASERING MRE OG WENNER

TJELDUNDBRUA

OPPDRAGSANSVARLIG :

ANDRZEJ RUBCZYNSKI

RYBA



SAKSBEH :

SYSTEM. KATODISKANLEGG

DATO : 30.09.2019

REV.DATO :

KONTR. :

TEGNING NR : NORD FELD

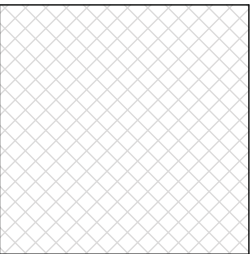
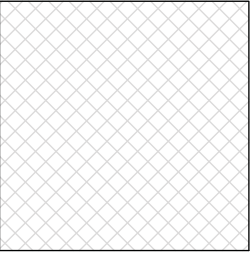
VISINOR REHAB AS



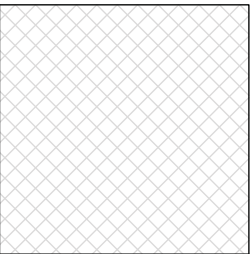
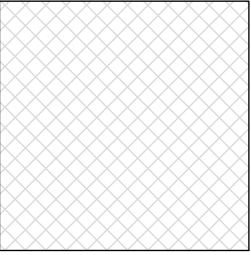
VISINOR

Sør-side av prøvelfelt

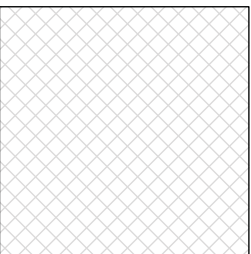
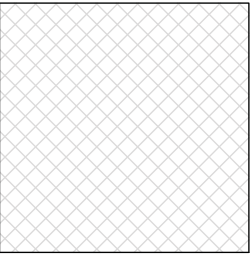
C

<p>MRE1 SØR C ◦ WEN1 SØR C</p> 	<p>MRE3 SØR C ◦ WEN3 SØR C</p> 
<p>MRE2 SØR C ◦ WEN2 SØR C</p>	<p>MRE4 SØR C ◦ WEN4 SØR C</p>

B

<p>MRE1 SØR B ◦ WEN1 SØR B</p> 	<p>MRE3 SØR B ◦ WEN3 SØR B</p> 
<p>MRE2 SØR B ◦ WEN2 SØR B</p>	<p>MRE4 SØR B ◦ WEN4 SØR B</p>

A

<p>MRE1 SØR A ◦ WEN1 SØR A</p> 	<p>MRE3 SØR A ◦ WEN3 SØR A</p> 
<p>MRE2 SØR A ◦ WEN2 SØR A</p>	<p>MRE4 SØR A ◦ WEN4 SØR A</p>

PLASERING MRE OG WENNER

TJELDSDUNDBRUA

OPPDRAGSANSVARLIG:

ANDRZEJ RUBCZYNSKI



DATE: 30.09.2019

REV.DATO:

KONTR.:

SYSTEM: KATODISKANLEGG

TEGNING NR: SØR FELD

VISINOR REHAB AS



VISINOR

Vedlegg E: Datablad Multiringelektrode

Moisture Sensor „MULTIRING ELECTRODE MRE“

Moisture sensor consisting of stainless steel rings at staggered depths to determine the moisture distribution in the surface-near concrete and to monitor the effectiveness of coating systems.

1 Fields of Application

Multiring Electrodes are used to determine the moisture distribution in the surface-near concrete of structural components exposed to water and to monitor the effectiveness of waterproofing and coating systems, e.g. used under edge beams or around joints. Multiring Electrodes can be installed into new or existing structures.

2 Description of the Sensor

The Multiring Electrode consists of eight stainless steel rings (1.4571, $d = 20$ mm, $h = 2.5$ mm), with a ring spacing of 5 mm between two neighbouring rings, and a pt1000 temperature sensor. Between each stainless steel ring a PE-insulation ring is located.



3 Measuring Principle

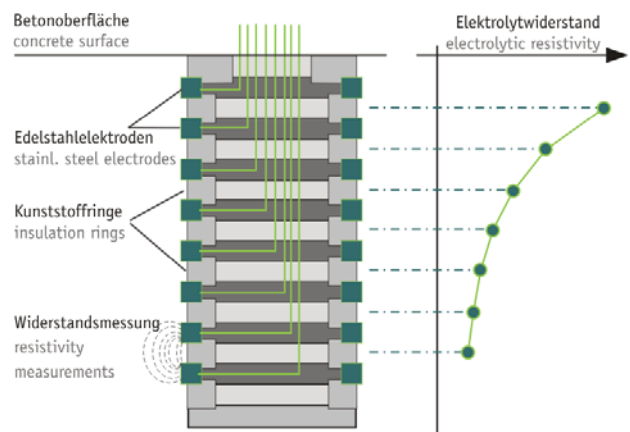
By measuring the AC resistance between two adjacent rings a resistance profile can be determined across the installation depth of the sensor, which can be converted into a moisture profile using concrete-specific calibration curves. A temperature compensation of the measured resistance is possible with the concrete temperature; a conversion of the resistance into the specific electrolytic resistivity is possible with the cell constant k .

4 Measurements

Two-electrode measurement AC resistance measurement (at frequencies of 100 Hz or 1.000 Hz) between two neighbouring stainless steel rings, measurement of the concrete temperature at the depth of the inner ring.

5 Cell Constant

The measured resistance [Ω] can be converted into the specific electrolytic resistivity [Ωm] when multiplied by the cell constant $k = 0.10$ m.



6 Dimensions

Length:	42 mm
Diameter:	20 mm
Ring spacing:	5 mm

7 Measuring devices

The Multiring Electrode can be read manually with a corresponding switch box for the separate control of the ring pairs and an LCR-instrument. It can also be used in conjunction with the measuring instruments CANIN LTM or HMG or integrated into existing measuring systems. For automatic data acquisition measurement nodes are supplied by the company Protector (www.protector.no).

Vedlegg F: Datablad Wennerelektrode



Camur II



Statens vegvesen
Norwegian Public Roads
Administration



4-pin Wenner sensor

The sensor is for monitoring AC resistance in concrete using the Wenner principle.

Description

The sensor consists of four stainless steel bolts mounted on a PVC base. AC voltage is applied to the outer pins and AC resistance can be calculated based on the response measured over the two inner pins. Cables are embedded in epoxy, and the entire sensor is bonded together with epoxy.

Technical data

Outputs	4
Sensor bolts active part dim.	Ø3 mm, height 5 mm
Sensor bolts active area	4 pcs $a \approx 54.2 \text{ mm}^2$
Sensor bolts material	303S31 / 1.4401 Stainless Steel
Mounting base dim. (WxHxD)	85 X 40 X 8 mm
Mounting base material	PVC
Cable	LiYCY 4 X 0.34 mm ² , 10 m
Dimensions (WxHxD)	85 X 28 X 40 mm
Weight	345 g
Cable length	10 m

Connectors

Color coding, cable

1. Black (closest to cable entry)
2. Red
3. Green
4. White (furthest away from cable entry)



Recording types

The 4-pin Wenner sensor is supported in the Camur II system by a modified version of Camur II ResMes. This node supports recording type Monitor in Camur II software.

HS export code: 9031 8090

CE

4-pin Wenner sensor, Rev 1 - January 2019

Page 1 of 1



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47)22073000
firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen