

Betongelementer for langtidsprøving

Austefjorden feltstasjon - prøving av betong i marint miljø

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 494



Tittel

Ikke- instrumenterte og instrumenterte betongelementer for langtidsprøving

Undertittel

Austefjorden feltstasjon - prøving av betong i marint miljø

Forfatter

Karla Hornbostel og Bård M. Pedersen

Avdeling

Vegavdelingen

Seksjon

Tunnel, geologi og betong

Prosjektnummer

604222

Rapportnummer

Nr. 494

Prosjektleder

Bård M. Pedersen

Godkjent av

Øyvind Bjøntegaard

Emneord

Betong, feltstasjon, bestandighet

Sammendrag

Statens vegvesen, Vegdirektoratet etablerte i 2017 en ny feltstasjon for langtids felteksponering av betong i marint miljø. Feltstasjonen er lokalisert ved en ferjekai i Austefjorden utenfor Bergen. Rapporten beskriver de første elementene som ble utplassert i feltstasjonen, i 2018 (Fase I) og 2019 (Fase II). Noen av elementene som ble utplassert i 2019 er instrumenterte. Instrumenteringen og data-innsamlingsopplegget for disse elementene beskrives.

Title

Non- instrumented and instrumented concrete elements for long term testing

Subtitle

Austefjord Field station - long term testing of concrete in marine environment

Author

Karla Hornbostel and Bård M. Pedersen

Department

Roads Department

Section

Tunnels, geology and concrete

Project number

604222

Report number

No. 494

Project manager

Bård M. Pedersen

Approved by

Øyvind Bjøntegaard

Key words

Concrete, field station, durability

Summary

In 2017, the Norwegian Public Roads Administration established a new Field station for long-term field exposure of concrete in marine environment. The field station is located at a ferry dock in the Austefjord outside Bergen. The report describes the first elements installed in the field station, in 2018 (Phase I) and 2019 (Phase II). Some of the elements that were installed in 2019 are instrumented. The instrumentation and data collection scheme for these elements is described.

Forord

Denne rapporten inngår i en serie av rapporter om utprøving og dokumentasjon av langtidsegenskaper for betong i marint klima ved feltstasjon Austefjorden ved Bergen. Etter en prosess i 2016 for å finne egnet sted for ny feltstasjon ble Austefjorden feltstasjon etablert i 2017. De tre første rapportene i serien omhandler følgende:

- SVV Rapport 492: Bakgrunn for etablering av feltstasjonen, og beskrivelse av hvordan feltstasjonen er tilrettelagt
- SVV Rapport 494: Ikke-instrumenterte og instrumenterte betongelementer for langtidsprøving (Fase I og II). Disse betongene ble utplassert henholdsvis i 2018 og 2019.
- SVV Rapport 495: Laboratoriedokumentasjon av betongresepter for betonger fra Fase I og II.

Det vil tilkomme flere rapporter i serien etter hvert, både i form av resultatrapporter og ved framtidig utsetting av nye betongelementer med nye betongsammensetninger.

Feltstasjoner av denne typen er svært viktige med tanke på å kunne dokumentere bestandighet av ulike betongtyper i aggressivt kystklima, og ikke minst for å kunne kalibrere akselerert laboratorieprøving mot sanne langtidsegenskaper i felt. Betongtypene som i første rekke har blitt satt ut hittil er betonger i henhold til de nye spesifikasjonene som kom i 2015 gitt i Håndbok R762, Prosess 84. I tillegg til dette er det satt ut elementer med betong i tråd med en eldre spesifikasjon hvor det var tillatt å bruke CEM I (ren Portlandsement), samt elementer med betongtyper som kan bli tillatt i framtiden, f.eks CEM III/A. Det forventes at det vil skje en utvikling mot nye typer sementer de nærmeste årene, blant annet som en følge av kravene om å redusere betongens klimaavtrykk. Det er ved etablering av feltstasjonen tatt høyde for å plassere ut et betydelig antall betongelementer bestående av framtidige sementer og bindemidler.

Sammendrag

I 2017 etablerte Statens Vegvesen, Vegdirektoratet, en ny feltstasjon for prøving av betong i marint miljø. Feltstasjonen ble tilrettelagt med rammer for elementoppheng og en gangbane som gjør det mulig å inspisere elementene. Elementer ble utplassert for langtidsprøving ved feltstasjonen i 2018 (Fase I) og i 2019 (Fase II). De fleste elementene er armert med 4 enkle stenger i lengderetning og bøyer. Tre elementer fra Fase II er i tillegg instrumentert med ytterlig armering og sensorer, i hovedsak referanseelektroder. Den nedre tredjedelen av elementene er permanent neddykket i sjøvann, den midterste delen av elementene er i tidevannssonen og den øverste delen er over tidevannssonen (atmosfærisk/luft sone). Fem forskjellige betongresepter ble satt ut i feltstasjonen i Fase I og tre resepter i Fase II. Rapporten beskriver prosjektering og produksjon av elementene som ble utplassert på feltstasjonen i 2018 og 2019 samt dataloggingsopplegget.

Innhold

Forord.....	1
Sammendrag	2
Innhold	3
1 Bakgrunn	5
2 Betongelementene, Fase I og II.....	6
2.1 Elementspesifikasjon	7
2.1.1 Elementgeometri.....	7
2.1.2 Minimumsarmering.....	7
2.1.3 Forskaling og avstandsholdere.....	8
2.1.4 Oppheng og innfesting	8
2.1.5 Betongproduksjon.....	8
2.1.6 Merking og plassering av elementene	8
2.2 Elementtyper	9
2.2.1 Ikke-instrumenterte elementer	10
2.2.2 Instrumenterte elementer.....	11
2.2.3 Forslag til elementer med riss, for framtidig utplassering	14
3 Datalogging av instrumenterte elementer	15
3.1 Formål med målingene	15
3.2 Parametere som overvåkes	16
3.3 Rapportering av datalogging	16
3.4 Oppsett for datalogging	16
3.5 Logging av temperatur i vann og luft.....	18
4 Vedlikeholdsplan	19
4.1 Vedlikehold betongelementer	19
4.2 Vedlikehold dataloggersystemet.....	19
4.2.1 Manuelle kontrollmålinger	20

Vedlegg A – Produksjonsrapport Fase I, DTI

Vedlegg B – Produksjonsrapport Fase II, DTI

Vedlegg C – Armeringstegninger ikke-instrumenterte elementer

Vedlegg D – Måle- og kontrollskap oppbygging

1 Bakgrunn

I 2015 kom det nye betongspesifikasjoner i Håndbok R762 Prosesskode 2, prosess 84. Betongtypene som beskrives i Prosess 84 skal dokumenteres med hensyn til langtidsegenskaper. For å sikre best mulig regelverk til enhver tid er det viktig med data fra naturlig eksponering i felt, og ikke bare fra akselererte laboratorieforsøk. Statens vegvesen har flere eldre feltstasjoner (basert delvis på utgåtte betongsammensetninger) som snart er kommet til det punkt at de skal avsluttes. Austefjord feltstasjon er Statens vegvesens nye satsning for å dokumentere betongs langtidsegenskaper.

I de senere år har det blitt utført laboratorieprøving på betongresepter som er aktuelle i dag og som er potensielt aktuelle for framtiden. Denne prøvningen er gjort ved SINTEF og RISE/CBI, samt i Statens Vegvesens eget Sentrallaboratorium. Et utvalg av disse reseptene har blitt valgt ut for langtidsprøving ved Austefjord feltstasjon. Prøvingen gjøres ved at betongelementer henges opp delvis neddykket i sjøvann over lang tid (flere år). Underveis gjøres det prøvetaking (kloridinntrengning etc.) og logging av signaler (korrosjonsaktivitet etc).

Den første utplasseringen av elementer i Austefjorden ble gjort i 2018 og 2019, av totalt åtte ulike betongresepter. Den nedre tredjedelen av elementene er permanent neddykket i sjøvann (omtalt som neddykket sone), den midterste delen av elementene er i tidevannssonen og den øverste delen er i atmosfærisk sone (hovedsakelig i luft, men utsatt for sjøsprøyt, i det følgende omtalt som luftsone). For tre av betongreseptene er det satt ut tre elementer hvor ett er instrumentert og to er ikke-instrumenterte. For de andre fem betongreseptene er det kun satt ut to ikke-instrumenterte elementer.

Rapporten beskriver prosjektering og produksjon av elementene som ble utplassert på feltstasjonen i 2018 (Fase I) og 2019 (Fase II) samt dataloggingsopplegget. Rapporten er del av en serie som beskriver aktiviteter på feltstasjonen i Austefjorden, se Forord.

2 Betongelementene, Fase I og II

Elementene i Fase I og Fase II ble støpt ut henholdsvis i 2017 (I) og i 2018 (II) og utplassert henholdsvis 31. januar 2018 og 6. mars 2019. Betongreseptene er ikke beskrevet i detalj her, det henvises til rapport nr. 495. En oversikt over betongenes bindemiddelsammensetning er gitt i Tabell 1.

Tabell 1 Betongenes bindemiddelsammensetning, Fase I og Fase II

Betongresept	Kort beskrivelse (bindemiddelsammensetning)	Iht. Prosseskode 2, Prosess 84 (utgave 2015)
Støping 2017 (Fase I)		
A	Norcem STD	Referanse tidligere feltstasjoner (Solsvik)
B	Norcem STD FA (18 % FA)	SV-standard
C	Norcem STD FA, totalt 40 % FA	SV-lavvarme
D	Norcem ANL FA (15 % FA)	SV-standard
E	Cemex CEM III/A	Sementen inneholder 45 % slagg, og er pr i dag ikke godkjent.
Støping 2018 (Fase II)		
F	Norcem ANL FA, totalt 40 % FA	SV-lavvarme
G	Cemex Miljøsement (30 % slagg)	SV-standard
H	Aalborg Rapid, totalt 20 % FA	SV-standard

I det følgende beskrives betongelementene som er utplassert ved Austefjorden, Fase I og II. De ikke-instrumenterte elementene har kun minimumsarmering. Fra disse elementene vil det i hovedsak bli tatt borekjerper i regelmessige tidsintervaller for direkte å følge kloridinntrenging over tid. I tillegg er det utplassert noen instrumenterte elementer, fra Fase II av programmet. Disse elementene er produsert med ytterligere armering og sensorer for kontinuerlig måling av elektrisk potensial og korrosjonsstrømmer (korrosjonsoppstart og korrosjonshastighet). De instrumenterte elementene er koblet til et automatisert overvåkningssystemet som er beskrevet i avsnitt 4.

Alle elementene ble produsert ved Danish Technological Institute i Taastrup, Danmark. I det følgende beskrives kravspesifikasjonen til elementproduksjonen. Det henvises også til produksjonsrapporten for detaljer i produksjonen av elementene, se Vedlegg A og B.

2.1 Elementspesifikasjon

2.1.1 Elementgeometri

Ved feltstasjonen ble det etablert et rammesystem som er beskrevet i SVV rapport 492. Hovedformål med rammen er å sikre en veldefinert plassering for elementene og at de ikke slingrer eller beveger seg i opphengssystemet under bølgepåvirkning. Etter montering av rammesystemet ble det gjort kontrollmålinger, og det ble konkludert med at den optimale dimensjonen for elementene er $b \times h \times l = 190 \text{ mm} \times 390 \text{ mm} \times 2700 \text{ mm}$. Geometritoleranse til tverrsnitt og loddavik for ferdig betongelement var $\pm 5 \text{ mm}$. Elementene ble støpt som bjelker, liggende på høykant. Elementgeometrien er vist i Vedlegg C.

For å sikre at elementene sitter godt i rammene ble det etter utplassering slått inn kiler mellom element og ramme.

2.1.2 Minimumsarmering

Alle elementene er utført med minimumsarmering, se Vedlegg C, som består av fire armeringsstenger i lengderetningen ($\varnothing 12 \text{ mm}$, overdekning 50 mm) og bøyer ($\varnothing 8 \text{ mm}$, overdekning 40 mm) med en senteravstand på 415 mm. Toleranse for overdekning og avstand mellom bøyer var $\pm 5 \text{ mm}$.

Armeringen er produsert av Celsa Armeringsstål AS, Mo i Rana, Norge (Tempcore® process), kamstål av teknisk klasse B500NC i samsvar med NS 3576-3, diameter 8 og 12 mm. Armeringen skulle være uten korrosjon (blank). Dette kravet var ikke oppretthold under produksjonen av elementene, minimumsarmeringen viste noen tegn på overflatekorrosjonen for alle elementer. Armeringen skulle bøyes ved bruk av dor i samsvar med reglene i NS-EN 1992-1-1+NA, armeringen ble fra Celsa levert ferdig bøyd og kappet til DTI.

Armeringskontakt

På minimumsarmeringen ble det etablert to kabler (armeringskontakter). Hver kabel ble ført ut av elementet i toppen, og har en lengde på ca. 3 m utenfor elementet. For å sikre god kontakt mellom kabel og armering ble armeringskontakten etablert på ren, blank stålflate i enden av lengdearmeringen og forseglet med epoksy. Elektrisk motstand mellom kablene og armeringen ble kontrollert før støping, og ingen måling viste høyere verdi enn 0,5 Ω .

2.1.3 Forskaling og avstandsholdere

Som forskalingshud ble vannavvisende kryssfiner benyttet. Forskalingsplatene ble gjenbrukt. Det ble benyttet armeringsstoler av betong. Toleranse for overdekning, avstand mellom bøyer og dimensjoner for elementene var på ± 5 mm.

Armeringskurven (minimumsarmeringen) ble bundet sammen med rustfri tråd slik at all armering er i elektrisk kontakt. Full elektrisk kontakt har blitt dokumentert ved motstandsmålinger (kriterium $< 0,5 \Omega$). Innstøpingsgods (løftebøyle/opphengsbøyle) i elementets ene endeflate er elektrisk isolert fra armeringskurven.

Elementformene skulle være fri for bindtråd, ledningskapp og andre fremmedlegemer før støping. Forskalingsolje skulle påføres i et tynt og jevnt sjikt, og gjort på en slik måte at den ikke kom i kontakt med armering eller instrumentering.

2.1.4 Oppheng og innfesting

I den ene endeflaten av elementene ble det støpt inn 1 stk. løftebøyle ($\varnothing 20$ mm) og 1 stk. opphengsbøyle ($\varnothing 25$ mm) – se tegning i Vedlegg C.

Både løftebøyle og opphengsbøyle er laget av rustfritt stål. Det ble brukt Arminox stainless steel grade 1.4362 med en PRE-verdi på 26.

2.1.5 Betongproduksjon

For hvert element ble det laget en separat betongblanding med blandevolum 270 liter. Produksjon, støping, komprimering og herdingstiltak skulle være i samsvar med NS-EN 13670 Kapittel 8. Av hver blanding ble det støpt étt betongelement og flere terninger for fasthets- og elektrisk motstandsprøving. Betongelementene ble støpt liggende på høykant. Etter støping og avretting ble de frie betongoverflatene beskyttet med damptett folie. Det ble stilt strenge krav til betongoverflatene. Overflatene skulle være fri for støpesår, riss og store porer (> 10 mm). Betongelementene ble avforskalt etter 48–72 timer. Deretter ble de beskyttet ved tildekking med fuktige strisekker og plast før transport til Austefjorden ca. 90 døgn etter støping.

Mer utdypende informasjon om produksjonen finnes i produksjonsrapporten fra DTI i Vedlegg A og B og i SVV rapport 495.

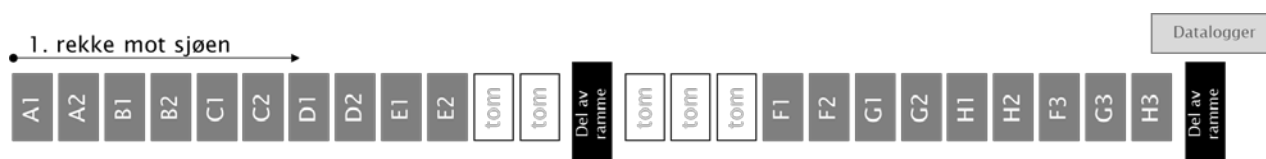
2.1.6 Merking og plassering av elementene

Elementene ble merket med resept ID (inkl. støpedato) og elementnummer som angitt i Tabell 2.

Tabell 2 – Merking av betongelementene.

Betong-resept	Kort beskrivelse	Resept ID og støpedato (på stålplate)	Bokstavkode og elementnummer (trykt i betongen)	Elementtype
Elementer produsert i 2017 (Fase I)				
A	Norcem STD	STD 0 _ 03.11.2017	A-1	ikke-instrumentert
		STD 0 _ 03.11.2017	A-2	ikke-instrumentert
B	Norcem STD FA	STD 18 _ 07.11.2017	B-1	ikke-instrumentert
		STD 18 _ 10.11.2017	B-2	ikke-instrumentert
C	Norcem STD FA 40 %	STD 40 _ 21.11.2017	C-1	ikke-instrumentert
		STD 40 _ 21.11.2017	C-2	ikke-instrumentert
D	Norcem ANL FA	ANL 15 _ 13.11.2017	D-1	ikke-instrumentert
		ANL 15 _ 13.11.2017	D-2	ikke-instrumentert
E	Cemex CEM III/A	Cemex 45 _ 17.11.2017	E-1	ikke-instrumentert
		Cemex 45 _ 17.11.2017	E-2	ikke-instrumentert
Elementer produsert i 2018 (Fase II)				
F	Norcem ANL FA 40 %	ANL 40 _ 04.12.2018	F-1	ikke-instrumentert
		ANL 40 _ 04.12.2018	F-2	ikke-instrumentert
		ANL 40 _ 04.12.2018	F-3	Instrumentert
G	Cemex Miljøsement	MILJØ _ 07.12.2018	G-1	ikke-instrumentert
		MILJØ _ 07.12.2018	G-2	ikke-instrumentert
		MILJØ _ 07.12.2018	G-3	Instrumentert
H	Aalborg Rapid 20 %	AALB 20 _ 11.12.2018	H-1	ikke-instrumentert
		AALB 20 _ 11.12.2018	H-2	ikke-instrumentert
		AALB 20 _ 11.12.2018	H-3	instrumentert

Per i dag er betongelementene utplassert i Austefjorden i henhold til Figur 1. Elementene fra Fase I ble utplassert 31. januar 2018 og betongelementene fra Fase II ble utplassert 6. mars 2019.



Figur 1 – Plassering av betongelementer Fase I og II.

Elementene er hengt opp på kaikanten slik at den nedre tredjedelen av elementene er permanent neddykket i sjøvann, den midterste delen av elementene ligger i tidevannssonen og den øverste delen ligger i atmosfærisk sone (eksponert for luft og væravhengig sjøsprøyt).

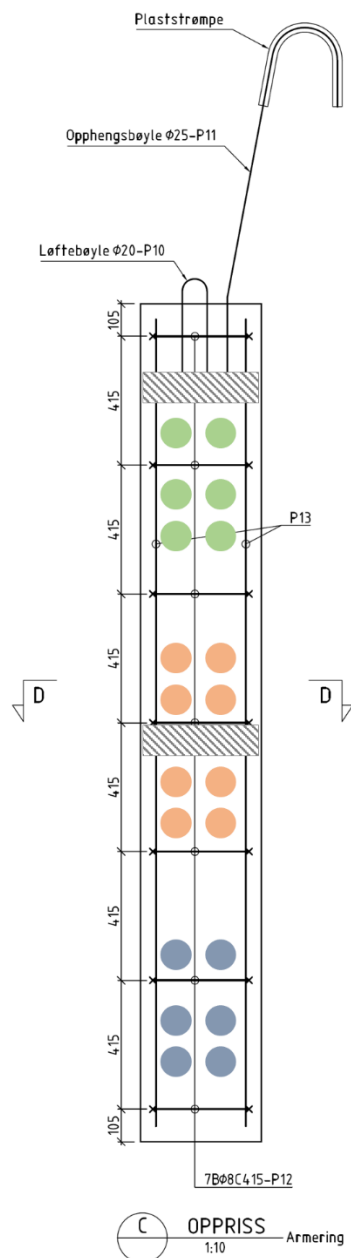
2.2 Elementtyper

De utplasserte elementene (Fase I og II) er som nevnt tidligere både instrumenterte og ikke-instrumenterte. Begge elementtypene er beskrevet i det følgende. Planlagte prøveuttak og oppfølging av sensorsignaler er også presentert. Det har også blitt utviklet et konsept for

elementer med riss ved ETH Zurich, Sveits, som kan bli basis for fremtidige elementutplasseringer i Austefjorden, se avsnitt 2.2.3.

2.2.1 Ikke-instrumenterte elementer

Hovedformålet med de ikke-instrumenterte elementene er å kunne ta borekjerne i regelmessige tidsintervaller for å følge kloridinntrengingen. Elementene er produsert etter beskrivelsen i avsnitt 2.1. Ingen ytterlig armering eller instrumentering har blitt støpt inn i elementene. Figur 2 viser et forslag til uttak av borekjerne.



Figur 2 – Forslag til prøvetaking – ikke instrumenterte elementer.

Områder som er skraverte er ikke egnet for prøvetaking fordi de er dekket av rammene fra opphengsystemet. Kjernene kan bores igjennom elementet, noe som gir to eksponeringsflater pr. kjerne hvorfra det kan freses støv for kloridanalyse. Ifølge prøveopplegget skissert i Figur 2 kan det fra hvert ikke-instrumenterte element tas 6–8 kjerner per eksponeringszone. Siden det finnes to ikke-instrumenterte elementer per betongresept kan det dermed gjennomføres opp til 12–16 prøveterminer per betongresept og eksponeringszone.

Følgende intervaller er foreslått for prøvetaking: 1–2 års prøving, 5 års prøving, 10 års prøving, 15 års prøving, 20 års prøving samt ved avslutning av feltstasjonen.

2.2.2 Instrumenterte elementer

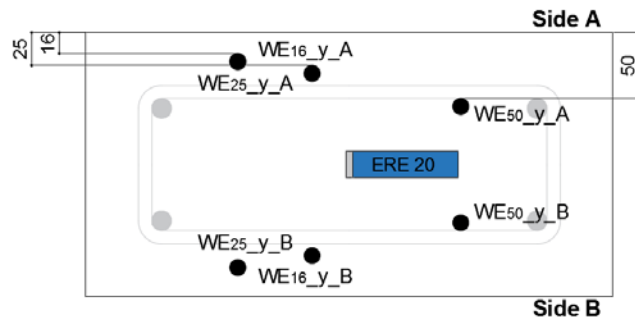
Formål med instrumentering

Hovedformålet med instrumenteringen er å studere initieringsfasen (tid fram til korrosjonsstart), i forhold til betongtype, overdekning og eksponering (neddykket, tidevann- og luftzone). Etter korrosjonstart studeres propageringsfasen (korrosjonshastigheten), i forhold til de samme variablene. I de etterfølgende avsnitt beskrives den fysiske instrumenteringen av elementene. I avsnitt 3.1 beskrives dataloggingsprogrammet i detalj for de instrumenterte elementene.

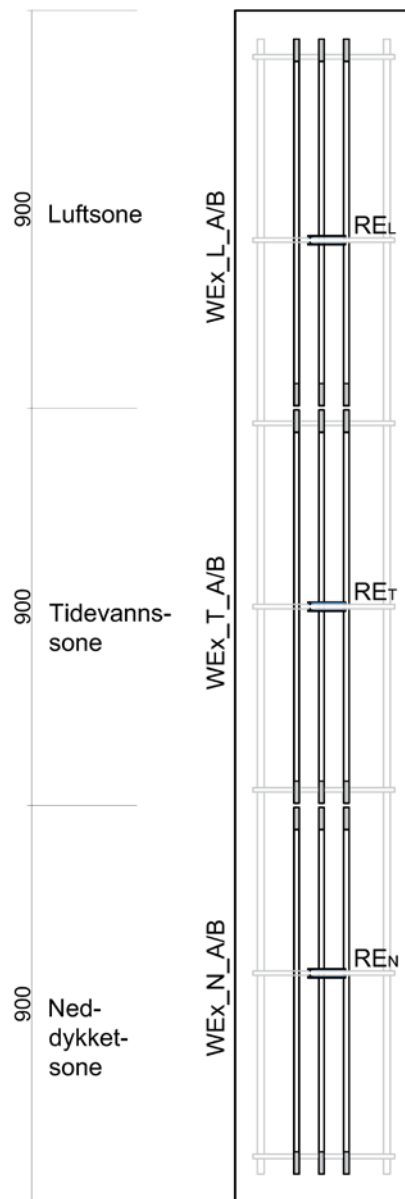
Instrumentering

I likhet med de ikke-instrumenterte elementer er alle instrumenterte elementer armert med en minimumsarmering (lengdearmering og bøyer) og opphengsbøyer, etter samme spesifisering som beskrevet i avsnitt 2.1. Avstand av bøylearmering er riktignok tilpasset instrumenteringsopplegget (se Vedlegg B).

For å studere korrosjonsutviklingen i ulike eksponeringssoner og dybder fra betongoverflata, ble det i tillegg montert tre armeringsstenger (arbeidselektroder/working electrodes=WE) per eksponeringszone og side (totalt 18 arbeidselektroder). Arbeidselektroder representerer armering med ulik overdekning. Arbeidselektrodene er plassert med tre forskjellige overdekninger ($x = 16, 25$ og 50 mm) på begge sider av elementet (Figur 3). For hver overdekning x finnes det altså én arbeidselektrode per eksponering ($y = L$ (luftzone), T (tidevannssone) og N (neddykket sone)) og side (Side A og B) (WEx_y_A/B) (Figur 3 og Figur 4). Elementenes side A vender ut mot sjøen (mot sør), mens side B vender inn mot land (mot nord).



Figur 3 – Tverrsnitt av instrumenterte elementer – lokalisering av arbeidselektroder (WE) og referanselektrode (ERE 20) i hver eksponeringssone (y står for eksponeringssone L, T eller N).



Figur 4 – Vertikalsnitt av instrumenterte elementer (WE er arbeidselektrode, RE er eksponeringssone, x står for ulike overdekninger).

Alle arbeidselektrodene er $\varnothing 10$ mm armeringsstenger med lengde 800 mm. Alt armeringsstål er produsert av Celsa Armeringsstål AS, Mo i Rana, Norge (Tempcore® process), kamstål av teknisk klasse B500NC i samsvar med NS 3576-3, diameter 10 mm. De ytterste 5 cm av hver stang har blitt sikret mot korrosjon (spesielt spaltekorrosjon). All armering som utgjør arbeidselektrodene er elektrisk isolert fra minimumsarmeringen og fra hverandre. For å sikre elektrisk isolering ble det benyttet monteringsanretninger/avstandsholdere/strips av ikke-ledende materiale. Se Vedlegg B for nærmere beskrivelse av tildanning og montering av arbeidselektroder.

I tillegg er det montert én referanseelektrode (ERE 20) midt i hver eksponeringsone (RE_L , RE_T og RE_N), sentrisk i elementvernsnittet. Sammen med hver referanseelektrode er det montert en temperatursensor (T_L , T_T , T_N) (temperatursensorer pt1000).

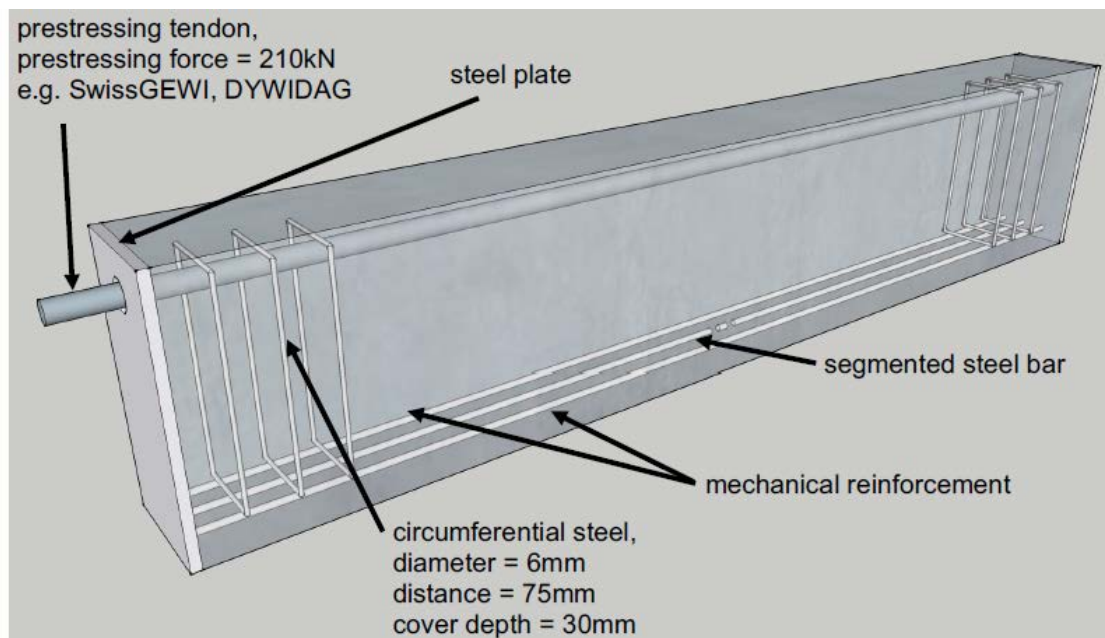
Kablene fra arbeidselektroder og minimumsarmering er samlet i totalt tre multilederkabler som er ført samlet ut av elementet, sammen med kablene fra de tre referanseelektrodene og de tre temperatursensorene. Kablene er ført ut av elementet gjennom et trekkerør på toppen av elementet og ut i en $\varnothing 40$ mm PVC-førsterket spiralslange i rustfritt stål. Overgangen mellom rør og slange ble utført med en rustfri stålkobling (Hellermann Tyton). Samme type kobling ble benyttet i overgangen spiralslange/måleskap. En oversikt over kabler som er ført ut av hvert av de tre instrumenterte betongelementene samt merking av kabler er vist i Tabell 3.

Tabell 3 - Kabler per instrumenterte element.

		Side A	Side B
Arbeidselektroder	Luftsone	WE _{16_L_A}	WE _{16_L_B}
		WE _{25_L_A}	WE _{25_L_B}
		WE _{50_L_A}	WE _{50_L_B}
	Tidevannssone	WE _{16_T_A}	WE _{16_T_B}
		WE _{25_T_A}	WE _{25_T_B}
		WE _{50_T_A}	WE _{50_T_B}
	Neddykket sone	WE _{16_N_A}	WE _{16_N_B}
		WE _{25_N_A}	WE _{25_N_B}
		WE _{50_N_A}	WE _{50_N_B}
Referanse- elektroder	Luftsone	RE_L	
	Tidevannssone	RE_T	
	Neddykket sone	RE_N	
Temperatur- sensorer	Luftsone	T_L	
	Tidevannssone	T_T	
	Neddykket sone	T_N	

2.2.3 Forslag til elementer med riss, for framtidig utplassering

I 2017 fikk ETH Zurich, Sveits, i oppdrag å lage et elementdesign som gjør det mulig å utplassere betongelementer med riss på feltstasjonen i Austefjorden. Utfordringen i Austefjorden er i hovedsak at to bjelker ikke kan spennes opp mot hverandre for å generere bøyemoment og riss (som gjort for eksempel ved feltstasjonen i Sandnessjøen, se SVV Bruavdeling rapport 94-13). I Austefjorden må elementene utplasseres enkeltvis. Forslaget fra ETH er å generere bøyingsriss med eksentrisk plassert spennarmering (forspenning). I tillegg ga ETH en anbefaling om å bruke segmenterte armerings stenger (en simulert armingsstang som er kuttet i flere biter for å tillate galvaniske strømmålinger mellom segmentene) for å optimalisere overvåkning av korrosjonsstart og hastighet i områder med riss. En skisse av forslaget er vist i Figur 5.



Figur 5 – Forslag til element med riss ved bruk av eksentrisk plassert forspent spennarmering (prestressing tendon), ETH Zurich, Sveit.

3 Datalogging av instrumenterte elementer

I det følgende beskrives bakgrunnen for instrumenteringen og målingene som gjennomføres ved hjelp av datalogger. Dataloggersystemet er også beskrevet.

3.1 Formål med målingene

I hovedsak foretas det kontinuerlige målinger av elektrokjemiske potensialer og galvaniske strømmer. Dette gjøres med de innstøpte referanseelektrodene og mellom arbeidselektrodene. Hensikten er å påvise korrosjonsinitiering ved å måle potensialendringer over tid og å vurdere korrosjonshastigheten. To forskjellige scenarier blir overvåket med instrumenteringen.

I) Adskilte arbeidselektroder i luft-, tidevanns- og neddykket sone

(Elementenes side A)

Ingen av arbeidselektrodene på side A (betegnet $WE_{x,y,A}$) er manuelt koblet med hverandre, det betyr at hver stang kan betraktes isolert (uten elektrisk kontakt). Korrosjonsinitiering og –propagering på en av arbeidselektroder kommer ikke til å påvirke andre arbeidselektroder. På denne måten er det mulig å undersøke de forskjellige eksponeringssoner og overdekninger hver for seg. Korrosjonsinitiering blir målt ved potensialmålinger. Det er ikke mulig å måle korrosjonshastighet for disse arbeidselektrodene med dataloggersystemet, men målingene kan gjøres etter behov manuelt fra utsiden av elementene.

II) Arbeidselektroder er koblet i vertikal retning

(Elementenes side B)

Arbeidselektroder med samme overdekning på side B (for eks. $WE_{16,L,B}$, $WE_{16,T,B}$ og $WE_{16,N,B}$) er manuelt koblet (elektrisk) med hverandre gjennom alle tre eksponeringssoner. Med hjelp av galvanisk strømmåling mellom de tre arbeidselektrodene (sonene) kan det studeres vekselvirkningen (strømgjennomgang, utvikling av makrocelle) mellom forskjellige soner. Korrosjonsinitiering blir målt ved potensialmålinger. Med hjelp av de galvaniske strømmålingene kan man få kvalitativ informasjon om korrosjonshastigheten. Armeringsstenger med ulik overdekning er ikke elektrisk koblet, og det er derfor mulig å studere korrosjonssituasjonen i de forskjellige overdekningene isolert fra hverandre.

I kombinasjon med prøveuttak på ikke-instrumenterte elementer (og påfølgende kloridanalyser) kan følgende informasjon studeres:

- Sammenheng/korrelasjon mellom elektrokjemisk målt korrosjonsstart og forventet korrosjonsstart basert på beregnede diffusjonskoeffisienter (kloridprofiler) og antatt kritiske kloridverdier (C_{crit}) **(mulig med I + II)**

- Vekselvirkninger mellom forskjellige soner (makrocelle utvikling og mulig (katodisk) beskyttelseeffekter) (**mulig med II**)

3.2 Parametere som overvåkes

For hvert element måles det 18 potensialer, 6 galvaniske strømmer og 3 temperaturer kontinuerlig to ganger per døgn. Følgende data logges automatisk:

Tabell 4 – Målinger per instrumenterte element.

	Side A	Side B
Elektrokjemisk potensial [mV vs. ERE 20]	$E_1 = RE_L \text{ vs. } WE_{16_L_A}$ $E_2 = RE_L \text{ vs. } WE_{25_L_A}$ $E_3 = RE_L \text{ vs. } WE_{50_L_A}$	$E_{10} = RE_L \text{ vs. } WE_{16_L/T/N_B}$ $E_{11} = RE_L \text{ vs. } WE_{25_L/T/N_B}$ $E_{12} = RE_L \text{ vs. } WE_{50_L/T/N_B}$
	$E_4 = RE_T \text{ vs. } WE_{16_T_A}$ $E_5 = RE_T \text{ vs. } WE_{25_T_A}$ $E_6 = RE_T \text{ vs. } WE_{50_T_A}$	$E_{13} = RE_T \text{ vs. } WE_{16_L/T/N_B}$ $E_{14} = RE_T \text{ vs. } WE_{25_L/T/N_B}$ $E_{15} = RE_T \text{ vs. } WE_{50_L/T/N_B}$
	$E_7 = RE_N \text{ vs. } WE_{16_N_A}$ $E_8 = RE_N \text{ vs. } WE_{25_N_A}$ $E_9 = RE_N \text{ vs. } WE_{50_N_A}$	$E_{16} = RE_N \text{ vs. } WE_{16_L/T/N_B}$ $E_{17} = RE_N \text{ vs. } WE_{25_L/T/N_B}$ $E_{18} = RE_N \text{ vs. } WE_{50_L/T/N_B}$
Galvanisk strøm [mA]	/	$I_1 = WE_{16_L_B} \text{ og } WE_{16_T_B}$ $I_2 = WE_{16_T_B} \text{ og } WE_{16_N_B}$ $I_3 = WE_{25_L_B} \text{ og } WE_{25_T_B}$ $I_4 = WE_{25_T_B} \text{ og } WE_{25_N_B}$ $I_5 = WE_{50_L_B} \text{ og } WE_{50_T_B}$ $I_6 = WE_{50_T_B} \text{ og } WE_{50_N_B}$
Temperatur [°C]	$T_1 = T_L$	
	$T_2 = T_T$	
	$T_3 = T_N$	

3.3 Rapportering av datalogging

Det vil bli utarbeidet årlige datarapporter som oppsummerer loggedata og en tolkning av status for de instrumenterte elementene (iht. formålene beskrevet i avsnitt 3.1). Rapportene vil lagres i arkivsystemet til Statens vegvesen.

3.4 Oppsett for datalogging

Dataloggerutstyret har blitt levert av Proctector AS og ble installert kort etter at de instrumenterte elementene ble utplassert i mars 2019. Følgende krav har blitt stilt til datalogger- systemet.

- Elektrokjemisk potensial: Måleområde minst +/- 1,5 V
Nøyaktighet minst 1 mV
Potensialer måles med en høy inngangsmotstand (> 10 MΩ)
- Galvanisk strøm: Måleområde minst +/- 1 mA
Nøyaktighet minst 1 µA
Kan måles både med ZRA (Zero Resistance Amperemeter) eller ved hjelp av en «shunt resistor»
- Temperatur: Målområde minst +/- 50°C
Nøyaktighet minst 0,5°C
- Elektrisk motstand: Måleområde fra 10 Ω til minst 1 MΩ
Nøyaktighet minst 10 Ω
Måles med AC ved frekvens 1 kHz

Kablene fra de instrumenterte elementene er trukket til et måleskap som er plassert like ved (Figur 6). Måleskapet har måleutstyr som måler potensialer og galvaniske strømmer.



Figur 6 – Måleskap med måleutstyr i umiddelbar nærhet til de instrumenterte elementene.

Kabler fra alle sensorene er koblet til merkede rekkeklemmer i bunnen av skapet. Måleutstyret i skapet består av 39 noder (små moduler som måler de forskjellige parametrene). Nodene

som måler galvanisk strøm mellom arbeidselektrodeene i forskjellige soner på side B på hvert element er koblet slik at de etablerer kontinuerlig galvanisk kontakt mellom to og to soner som beskrevet lengre opp. Forgrening av kablene fra referanseelektrodeene gjøres via rekkeklemmer i skapet. Det er blitt trukket én bus- kabel for datakommunikasjon og én kabel for nettspenning fra dette måleskapet til et styringsboden i enden av kaien. I styringsboden er det plassert et mindre kontrollskap som inneholder systemets sentralenhet og et 4G-modem. Måledata logges av sentralenheten i styringsboden og synkroniseres ved forhåndsdefinerte intervaller. I Vedlegg D finnes en skisse av oppsettet i begge skapene.

3.5 Logging av temperatur i vann og luft

I tillegg til dataloggingssystemet beskrevet i avsnitt 3.1 – 3.4 er det også installert to temperatursensorer på feltstasjonen. Sensorene er av type TINYTAG fra leverandøren INTAB. Det har blitt plassert én sensor av type TINYTAG PLUS 2 på rekkverket av feltstasjonen (permanent i luft). I tillegg er en sensor av type TINYTAG VATTENTÅT, AQUATIC plassert permanent neddykket i sjøen. Data fra disse to loggerne hentes inn manuelt to ganger i året. Disse dataene inkluderes ved rapportering, som nevnt i avsnitt 3.3.

4 Vedlikeholdsplan

Driftstida for Austefjorden feltstasjonen er satt til minst 20 år. Flere av Statens Vegvesens feltstasjoner har i dag vært i drift i mer enn 20 år (for eksempel ble feltstasjonen i Sandnessjøen satt i drift i 1993 og er per i dag fortsatt operativ).

I det følgende er det nevnt noen sentrale punkter for vedlikehold av betongelementene og dataloggersystemet som er nødvendig å følge opp over de neste årene. En mulighet som vil bli vurdert er at feltstasjonen går in som del av inspeksjonsprogrammet for bruer i Statens Vegvesen med årlige enkle inspeksjoner og noen ekstra oppfølginger av det elektriske anlegget. Noen vesentlige punkter for denne type inspeksjon er beskrevet under. Utover enkle inspeksjoner skal prøvings- og dataregistreringsopplegget følges som beskrevet i avsnitt 2 og 3.

4.1 Vedlikehold betongelementer

Betongelementene bør i stor grad være vedlikeholdsfrie. Eventuelle skader på elementene må registreres, dette kan både være skader på grunn av håndtering (oppheising for prøvetaking etc.), hærverk, ekstremvær, eller korrosjonsskader med påfølgende riss og avskalling. Opphengsbøylene og forankringen for kjettingen må kontrolleres for eventuelle skader. Det kan være behov for overflatebehandling av disse utstikkende ståldelene. Opphenget er vesentlig for å sikre at ingen elementer går tapt eller skades. Merking av elementene må kontrolleres, både avtrykket i betongen må være lesbart og stålplaten må sitte godt på opphengsbøylene.

4.2 Vedlikehold dataloggersystemet

Dataloggersystemet består av en del sårbar instrumentering og elektriske deler. Det er viktig å inspisere skapene, kablene og all annen elektronikk. Det må til enhver tid være strøm koblet til sentralenheten, og ledningen mellom kontrollskapet i styringsboden og måleskapet som er plassert ved siden av elementene må til enhver tid være intakt. Etter som systemet er fjernovervåket, kan strømbrudd av anlegget enkelt oppdages ved regelmessig oppkobling til dataloggerne. Eventuelt kan det inngås en driftsavtale med Protector AS for å sikre kontinuerlig logging. En slik avtale finnes ikke per i dag.

Det anbefales at en elektriker gjør en funksjonssjekk av hele dataloggeranlegget minst hvert 3. år. Eventuelt må sårbare deler byttes etter hvert. Sentralenheten må oppdateres (software) regelmessig. Det anbefales å ta kontakt med Protector AS hvert 5. år for å oppdatere sentralenheten.

4.2.1 Manuelle kontrollmålinger

For å sikre at sensorene fungerer som tiltenkt og at dataloggersystemet måler korrekte data er det nødvendig å gjennomføre manuelle kontrollmålinger minst én gang hvert år.

Følgende manuelle målinger anbefales:

I måleskapet:

- Potensial mellom referanseelektrodene i hvert element (REL vs. RET og RET vs. REN)
- Elektrisk kontakt/ikke kontakt mellom arbeidselektrodene, dette kan gjøres ved å registrere elektrisk motstand mellom arbeidselektrodene
- Potensial mellom referanseelektrodene og arbeidselektroden (kontroll av dataloggermålingene)

På betongoverflaten

- Potensial mellom en ekstern referanseelektrode og de innstøpte referanseelektrodene



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 6706 Etterstad 0609 OSLO
Tlf: (+47) 22073000
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen