

Kloridbestandighet, prøving etter 6-7 år

Austefjorden feltstasjon - prøving av betong i marint miljø

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 1130



Tittel

Kloridbestandighet, prøving etter 6-7 år

Undertittel

Austefjorden feltstasjon - prøving av betong i marint miljø

Forfatter

Eva Rodum, Karla Hornbostel og Bård M. Pedersen

Avdeling

Konstruksjoner

Seksjon

Konstruksjonsteknikk

Prosjektnummer

L10078

Rapportnummer

1130

Prosjektleder

Bård M. Pedersen

Godkjent av

Øyvind Bjøntegaard

Emneord

Betong, feltstasjon, bestandighet, klorider

Sammendrag

Austefjorden feltstasjon ble etablert av Statens vegvesen i 2017. 19 elementer støpt med åtte forskjellige betonger ble utplassert ved feltstasjonen i 2018 (Fase I) og i 2019 (Fase II). Denne rapporten beskriver felt- og laboratorieprøving utført på åtte ikke-instrumenterte elementer i 2025, etter hhv. sju (fase I) og seks (fase II) års felteksponering. Prøvingen omfatter kloridinntrenging, spesifikk elektrisk motstand, EKP-målinger, trykkfasthet og porøsitet. Resultatene er sammenholdt med resultater fra tilsvarende prøving i 2022, og betongenes kloridmotstand over tid er uttrykt ved beregnede aldringsekspONENTER og Dapp(50 år).

Title

Chloride resistance, testing after 6-7 years

Subtitle

Austefjorden field station - testing of concrete in marine environment

Author

Eva Rodum, Karla Hornbostel og Bård M. Pedersen

Department

Structures

Section

Structural Engineering

Project number

L10078

Report number

1130

Project manager

Bård M. Pedersen

Approved by

Øyvind Bjøntegaard

Key words

Concrete, field station, durability, chlorides

Summary

Austefjorden field station was established by the NPRA in 2017. 19 elements cast with eight different concretes were placed in the field station in 2018 (Phase I) and 2019 (Phase II). This report describes field- and laboratory testing performed on eight non-instrumented concrete elements, after seven (Phase I) and six (Phase II) years of field exposure. The testing includes chloride ingress, resistivity, ECP, compressive strength, and porosity. The results are compared with corresponding results from 2022, and the time-dependent chloride resistance of the concretes is expressed in terms of calculated aging exponents and Dapp(50 years).



Innhold

Forord.....	2
1 Innledning	3
2 Målsetning	3
3 Betonger.....	3
4 Feltarbeid	5
4.1 Lokalitet av ferjekai og elementer	5
4.2 Organisering	5
4.3 Innmåling av betongelementer og tidevann	7
4.4 Inspeksjon og merking av elementer.....	7
4.5 Måling av spesifikk elektrisk motstand	9
4.6 EKP-målinger	9
4.7 Utboring av kjerner	10
5 Reparasjon av borhull og tilbakesetting av elementer	12
6 Laboratorieprøving ved Sentrallaboratoriet i Oslo	14
6.1 Mottak, oppbevaring og disponering av kjerner	14
6.2 Framstilling av kloridprofiler og beregning av kloriddiffusjonskoeffisienter.....	14
6.3 Bestemmelse av spesifikk elektrisk motstand	18
6.4 Bestemmelse av porøsitet	20
6.5 Bestemmelse av trykkfasthet og densitet	20
7 Oppsummering og vurdering av resultater	21
7.1 Spesifikk elektrisk motstand	21
7.2 Elektrokjemisk potensial (EKP)	24
7.3 Kloriddiffusjon og aldringseksponent	26
7.4 Trykkfasthet.....	31
7.5 Porøsitet.....	31
8 Videre behandling av resultatene	33
9 Referanser	34
Vedlegg 1: Plan for feltarbeidene	
Vedlegg 2: Elektrokjemiske potensialer	
Vedlegg 3: Kloridprofiler og kloriddiffusjonskoeffisienter	
Vedlegg 4: Foto av bjelkene før tilbakesetting	

Forord

Denne rapporten inngår i en serie av rapporter om utprøving og dokumentasjon av langtidsegenskaper for betong i marint klima i feltstasjon Austefjorden, ved Bergen. Feltstasjonen ble etablert i 2017. De fire 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 betongreseppter for betonger fra Fase I og II.
- SVV Rapport 1016: Felt- og laboratorieprøving utført på åtte ikke-instrumenterte elementer i 2022, etter hhv. fire (fase I) og tre (fase II) års eksponering.

Foreliggende rapport omhandler felt- og laboratorieprøving utført på åtte ikke-instrumenterte elementer i 2025, etter hhv. sju (fase I) og seks (fase II) års eksponering.

1 Innledning

Statens vegvesen etablerte i 2017 en ny feltstasjon for langtids felteksponering av betong i marint miljø. Feltstasjonen er lokalisert ved Austefjorden ferjekai i Øygarden utenfor Bergen og er tilrettelagt for utplassering av armerte betongelementer, med eller uten instrumentering. Beliggenhet og utforming av feltstasjonen er beskrevet i Statens vegvesen rapport nr. 492 /1/.

De første 19 elementene ble utplassert ved feltstasjonen hhv. 31. januar 2018 (Fase I) og 6. mars 2019 (Fase II). Elementenes geometri og instrumentering er beskrevet i Statens vegvesen rapport nr. 494 /2/. Elementene ble produsert ved Dansk Teknologisk Institut (DTI). Prøving av ferskbetongegenskaper, trykkfasthet og bestandighetsprøving i laboratorium er rapportert i Statens vegvesen rapport nr. 495 /3/.

Den første runden med felt- og laboratorieprøving ble utført på åtte ikke-instrumenterte elementer i 2022, etter hhv. fire (fase I) og tre (fase II) års eksponering /4/.

Data fra de tre instrumenterte elementene (fra fase II) logges fortløpende og resultatene rapporteres årlig i interne notater /5/.

Denne rapporten beskriver den andre runden med felt- og laboratorieprøving utført på åtte ikke-instrumenterte elementer i 2025, etter hhv. sju (fase I) og seks (fase II) års eksponering. Den er bygd opp på samme måte som rapporten som omhandler runde 1 og inneholder delvis samme bakgrunnsinformasjon.

2 Målsetning

Målet med rapporten er å dokumentere de åtte utplasserte betongenes utvikling i kloridmotstand, samt betongenes spesifikke elektriske motstand og elektrokjemiske potensialer, fram til seks og sju års eksponering.

Resultatene fra prøvingsrunde 2 er sammenholdt med resultatene fra prøvingsrunde 1 /4/, og det er beregnet aldringseksponenter for betongene, hhv. i tidevanns- og neddykket sone.

3 Betonger

En oversikt over betongene er vist i Tabell 1. Betongnavnene angir sementtype og total mengde flygeaske (FA) eller slagg (i % av bindemiddelmengde), med unntak for miljøsementen fra Cemex som er benevnt «Miljø». Miljø-sementen har 30 % slagginnhold. Alle betongene ble tilsatt 4 % silikastøv (av total bindemiddelmengde), og tilsiktet luftinnhold var $4,5 \pm 1,5$ %.

Betong A er lik referansebetongen fra FoU-prosjektet «Kloridbestandig betong – fase II» (Solsvik), med masseforhold $m=0,39$. Betong C og F er «SV-Lavvarme»-varianter med proporsjonert $m=0,44$. Øvrige betonger er «SV-Standard»-varianter med proporsjonert $m=0,39$. Ekstra tilsatt flygeaske har virkningsfaktor 0,7 i masseforhold-beregningen. Silikastøv har virkningsfaktor 2,0.

Proporsjonerte/nominelle betongresepter er angitt i Tabell 2. Detaljert beskrivelse av proporsjonering og utstøping av elementer og prøvestykker for laboratoriedokumentasjon er gitt i Statens vegvesen rapport nr. 495 /3/.

Tabell 1 Oversikt over betongene som er støpt i fase I (Resept A–E) og fase II (Resept F–H)

Betong	Navn	Kortnavn	Totalt innhold ¹⁾ %		Silika-innhold ¹⁾ %	Masseforhold	Støpedato DTI
			FA	Slagg			
Elementer produsert i 2017 (Fase I)							
A	Norcem Std	Std0	-	-	4	0,39	03.11.2017
B	Norcem Std FA	Std18	17,3 ²⁾	-	4	0,39	07.11.2017 10.11.2017
C	Norcem Std FA 40 %	Std40	40	-	4	0,44	21.11.2017
D	Norcem Anl FA	Anl15	14,4 ²⁾	-	4	0,39	13.11.2017
E	Cemex CEM III/A	Cemex45	-	43,3 ³⁾	4	0,39	17.11.2017
Elementer produsert i 2018 (Fase I)							
F	Norcem Anl FA 40 %	Anl40	40	-	4	0,44	04.12.2018
G	Cemex Miljøsement	Miljø	-	28,8 ³⁾	4	0,39	07.12.2018
H	Aalborg Rapid 20 %	Aalb20	20	-	4	0,39	11.12.2018

1) Flygeaske (FA), slagg og silikainnhold er gitt som vekt-% av total bindemiddelmengde

(sement+FA+slagg+silika).

2) FA-innholdet i AnlFA-sementen er 15 % og i StdFA-sementen 18 %

3) Slagginnholdet i Miljøsementen er 30 % og i Cemex CEM III/A 45 %

Tabell 2 Proporsjonerte/nominelle betongresepter

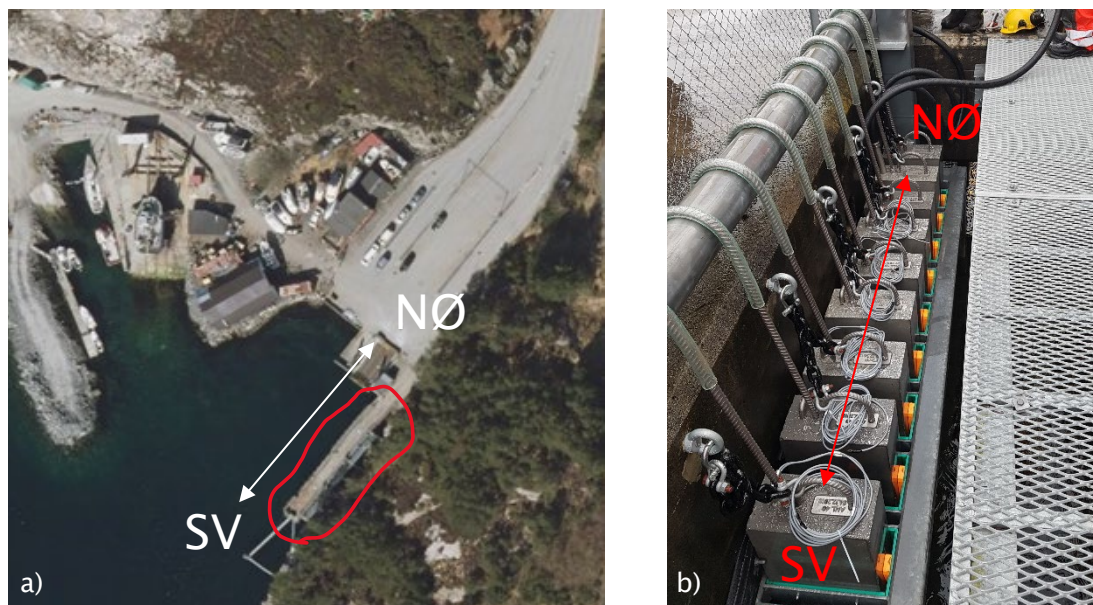
Materialer, kg/m ³	Betonger							
	Fase I (2017)					Fase II (2018)		
	A Std0	B Std18	C Std40	D Anl15	E Cemex45	F Anl40	G Miljø	H Aalb20
Norcem Standard	427,2							
Norcem Standard FA		419,0	281,6					
Norcem Anlegg FA				420,0		272,3		
Cemex CEM III/A					420,8			
Aalborg Rapid								338,7
Cemex Miljøsement							422,3	
Elkem Microsilica	18,0	17,6	16,6	17,6	17,7	16,7	17,7	18,0
Flygeaske Eminent B4	0,0	0,0	114,3	0,0	0,0	124,4	0,0	89,2
Fritt vann	180,6	177,2	173,7	177,5	177,9	172,8	178,5	170,5
Absorbert vann	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Årdal sand 0/8	887,8	887,8	887,8	888,1	887,8	888,4	888,4	888,4
Årdal stein 8/16	793,4	793,4	793,4	793,7	793,4	793,2	793,2	793,2
Mapei Dynamon SX-23	3,1	2,7	1,9	2,5	2,5	1,7	2,0	2,2
Mapeair 25 (1:9)	1,6	2,9	5,4	4,0	1,4	6,2	1,9	3,0
Masseforhold (v/b*)	0,39	0,39	0,44	0,39	0,39	0,44	0,39	0,39

*) k=0,7 for ekstra tilsatt flygeaske og k = 2,0 for silikastøv

4 Feltarbeid

4.1 Lokalitet av ferjekai og elementer

Lokalitet av ferjekai og elementer er vist i Figur 1.



FIGUR 1 A) OVERSIKT AUSTEFJORDEN FERJEKAI (MERKET MED RØD RING). KAIEN LIGGER I RETNING SV–NØ. FOTO: NORGEIBILDER.NO B) PLASSERING AV ELEMENTENE I RAMMESYSTEM, MED SIDEFLATER MOT HHV. SV OG NØ. FOTO: STATENS VEGVESEN.

4.2 Organisering

Statens vegvesens laboratorium i Bergen sto for det praktiske arbeidet med oppheising av elementer, utboring av kjerner, reparasjon av borhull og tilbakesetting av elementene. Kran var innleid fra K.I. Svensdal AS.

Feltnmålinger og utboring av kjerner ble utført 9/9–25. Reparasjon av borhull ble utført 10/9–25, og elementene ble hengt på plass igjen 12/9–25.

Ett ikke-instrumentert element fra hver betongresept (se Tabell 3) ble heist opp fra rammesystemet og lagt på strø foran ferjekaillemmen (se foto i Figur 2) for nærmere undersøkelser og prøvetaking.

Tabell 3 Oversikt over ikke-instrumenterte elementer undersøkt i prøvingsrunde 2

Merking ved inntrykk i toppflata og på stålplate							
A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1
STD 0 03.11.2017	STD 18 07.11.2017	STD 40 21.11.2017	ANL 15 13.11.2017	CEMEX 45 17.11.2017	ANL 40 04.12.2018	MILJØ 07.12.2018	AALB 20 11.12.2018

Mens elementene hang i vertikal posisjon ble de skrapet rene for begroing, på alle sider. Elementene ble deretter lagt ned med flate mot NØ vendt opp.

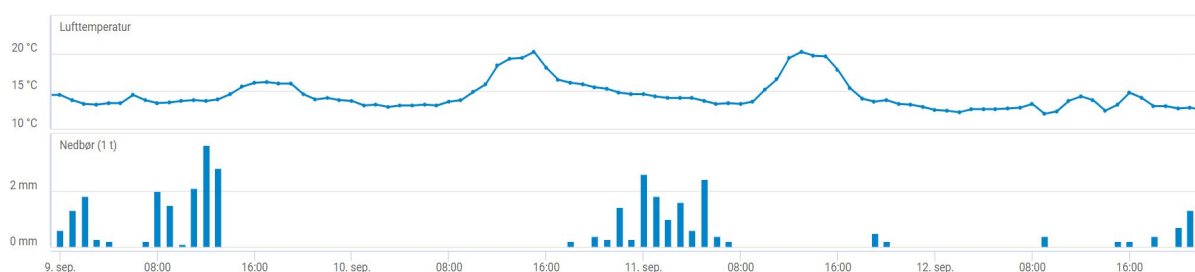


FIGUR 2 FOTO AV ELEMENTENE OPPLAGT PÅ STRØ FORAN FERJEKAIEMMEN. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN

Det var utarbeidet en detaljert plan for arbeidene (Vedlegg 1), som var gjennomgått med laboratoriepersonellet på forhånd. Det ble også gjennomført en SJA-analyse før oppstart.

Til stede under feltarbeidet 9–10/9 2025 var: Karla Hornbostel (dag 1), Jason Braanen (dag 1), Mathias Haugen (dag 1), Jan Agnar Trengereid (dag 1 og 2), Bård M. Pedersen (dag 1 og 2) og Eva Rodum (dag 1 og 2), alle fra Statens vegvesen. I tillegg kranfører fra K.I. Svensdal AS.

Værforholdene under arbeidene var stort sett gode. På dag 1 var det mye regn under oppheising av elementene, men ellers stort sett oppholdsvær og temperaturer mellom 13 °C og 16 °C. På dag 2 var det oppholdsvær og temperaturer mellom 14 °C og 20 °C. I perioden fra gjenmørtling til utsetting av elementene var det stort sett skyet og temperaturer mellom 12 og 20 °C, se temperaturutskrift fra Norsk Klimaservicesenter i Figur 3.



FIGUR 3 TEMPERATUR- OG NEDBØRSOVERSIKT FOR AUSTEFJORDEN (FLESLAND MÅLESTASJON, 13 KM FRA AUSTEFJORDEN) – I PERIODEN 9. – 12. SEPTEMBER 2025. REF: SEKLIMA.MET.NO

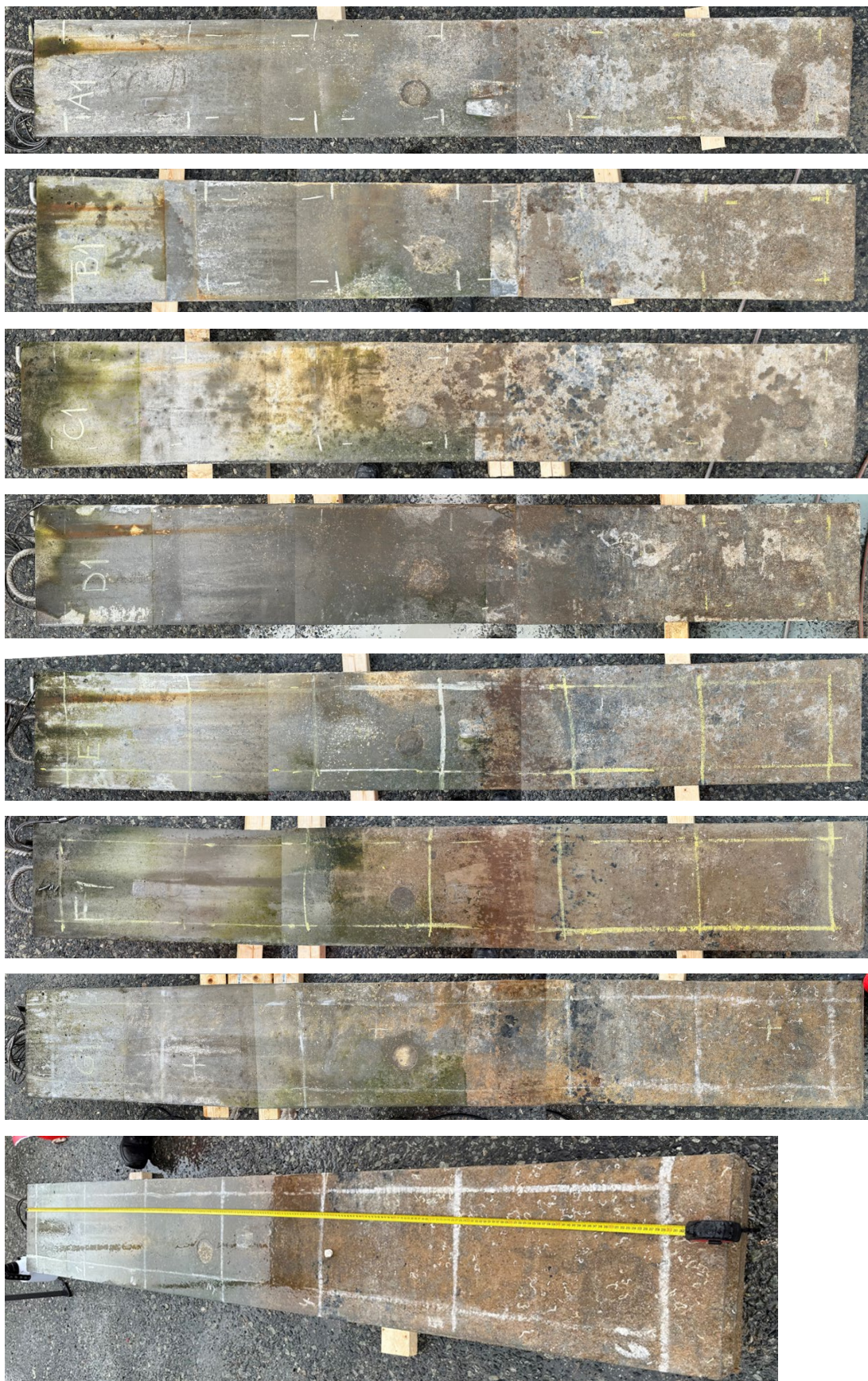
4.3 Innmåling av betongelementer og tidevann

Rammesystem og elementer er prosjektert med tanke på at elementene skal henge med 1/3-del i luft, 1/3-del i tidevannssonen og 1/3-del permanent neddykket i sjøen. For å kontrollere elementenes faktiske posisjon i forhold til tidevannet ble det i 2022 utført målinger av elementenes posisjon og vannstand. Målingene indikerer at senter av elementene ligger 5–10 cm høyere enn Kartverkets referanseverdi «middelvann (1996–2014)». For detaljer se Statens vegvesen rapport 1016 /4/.

4.4 Inspeksjon og merking av elementer

I 2022 var de ulike eksponeringssoner synlig på elementene etter oppheising og avskraping av begroing /4/. I 2025 var elementene generelt mer skjoldete og i kombinasjon med regn var det vanskeligere å se klare forskjeller over høyden. Foto av hvert element (sammenstilt av tre foto pr. element, med unntak av for element H1) er vist i Figur 4.

Lengde- og bøylearmering ble identifisert med covermeter og armeringens lokalitet tegnet på elementene med kritt (se foto i Figur 4), som utgangspunkt for overflatemålinger og kjerneboringer.



FIGUR 4 OVERSIKTSFOTO AV ELEMENTENE ETTER OPPLEGGING PÅ KAI, FRA ELEMENT A1 (ØVERST) TIL ELEMENT H1 (NEDERST). HVERT FOTO ER SATT SAMMEN AV TRE ENKELTFOTO (MED UNNTAK AV FOR H1). FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN

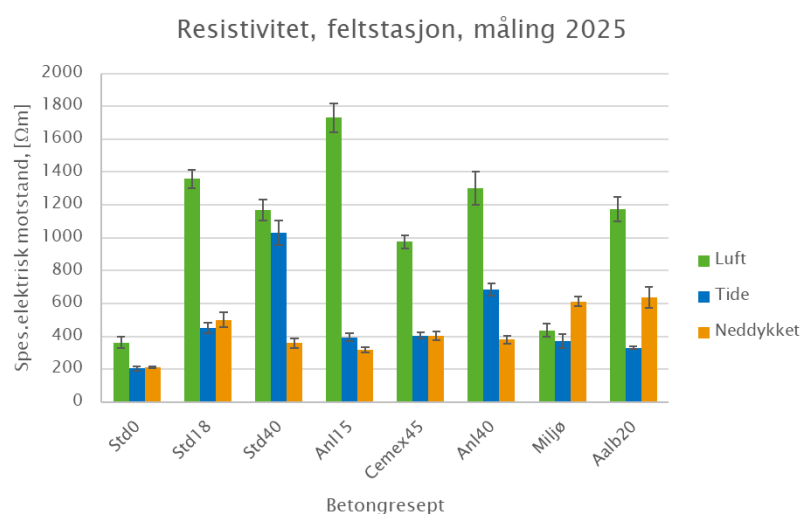
4.5 Måling av spesifikk elektrisk motstand

Spesifikk elektrisk motstand ble målt ved bruk av et fire-elektroders «Wenner» –instrument (Resipod fra Screening Eagle), hhv. i luftsonen, tidevannssonen og neddykket sone av hvert element. Målingene ble gjort mellom lengdearmering/bøyler. Betongen var fuktig under målingene og lufttemperaturen var mellom 13 og 16°C. Som kontakt mellom betongoverflaten og instrumentenes elektroder ble det brukt fuktige svamper.

Resultatene er sammenstilt i Tabell 4 og presentert grafisk i Figur 5.

Tabell 4 Spesifikk elektrisk motstand målt med 4-elektrode Wenner-utstyr, ved ca. 15°C, gjennomsnittsverdier av fem målinger i samme sone (T=luft, M=tidevann og B=neddykket).

ρ [Ωm]	Betonger							
	Fase I (2017)					Fase II (2018)		
	Eksponeringstid: 4 år					Eksponeringstid: 3 år		
	A1 Std0	B1 Std18	C1 Std40	D1 Anl15	E1 Cemex45	F1 Anl40	G1 Miljø	H1 Aalb20
Luft (T)	360	1360	1170	1730	980	1300	440	1180
Tidevann (M)	210	450	1030	390	410	690	370	330
Neddykket (B)	210	500	360	320	400	380	610	640



FIGUR 5 SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT I FELT MED 4-ELEKTRODE WENNER-UTSTYR, MÅLINGER VED LUFTTEMPERATUR CA. 15°C. GJENNOMSNIITTSVERDIER AV FEM MÅLINGER MED STANDARDAVVIK.

4.6 EKP-målinger

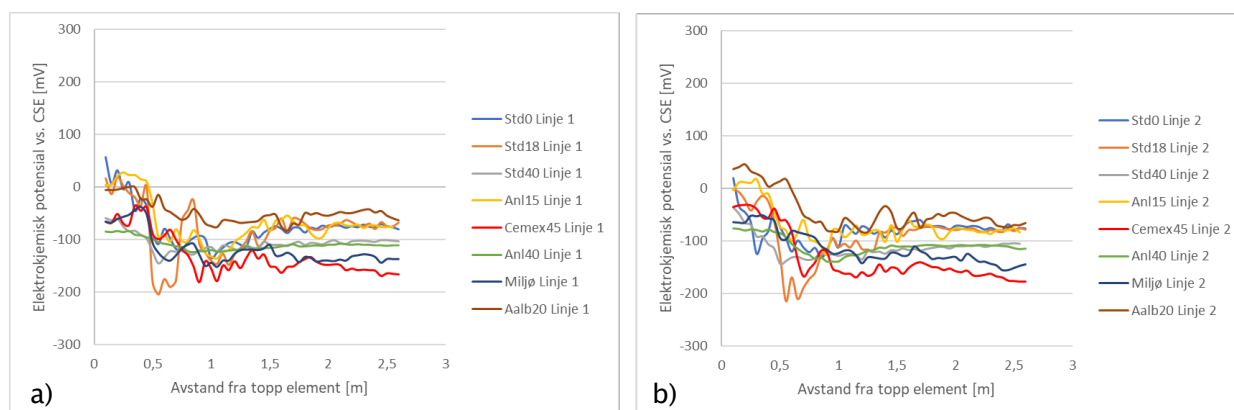
Elektrokjemiske potensialmålinger (EKP-målinger) ble utført langs hver lengdearmering, med ca. 5 cm avstand mellom målepunktene, se foto i Figur 6. Målelinje 1 ble tegnet opp over armering nærmest kaikant og målelinje 2 over armering lengst fra kaikant (når elementet henger i rammesystemet). Ettersom bøylearmeringen har mindre overdekning enn lengdearmeringen ble det gjort målinger også langs bøylene. Målingene ble utført med en

stavelektrode av type kobber-kobbersulfatelektrode ($\text{Cu}/\text{Cu}_2\text{SO}_4$, CSE). Målingene ble registrert med et ordinært multimeter.



FIGUR 6 MÅLING AV OVERFLATEPOTENSIALER PÅ ELEMENT H1. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN

Alle enkeltresultater for hvert element er gitt i tabeller i Vedlegg 2. I tillegg er enkeltmålinger langs vertikalarmering fremstilt grafisk i vedlegget, samt at det er fremstilt potensialkart for bølgearmeringen. Resultatene målt langs lengdearmeringen (hhv. linje 1 og 2) er sammenstilt for alle elementer i Figur 7.

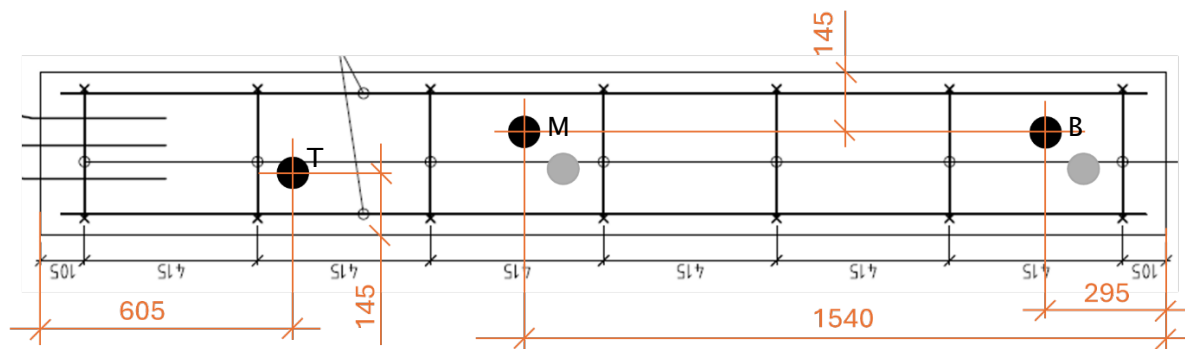


FIGUR 7 RESULTATER FRA EKP-MÅLINGER (VS. CSE) FOR ALLE ELEMENTER, A) LANGS LENGDEARMERING LINJE 1 OG B) LANGS LENGDEARMERING LINJE 2.

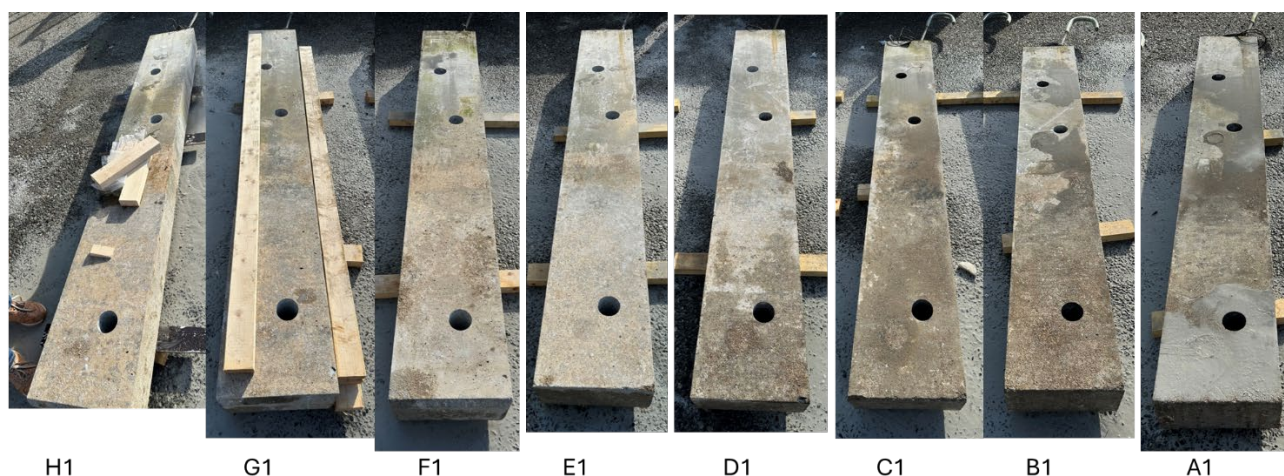
4.7 Utboring av kjerner

Det ble boret ut 3 stk. gjennomgående $\varnothing 75$ mm kjerner pr. element, én i luftsonen, én i tidevannssonen og én i neddykket sone. Lokaltetene ble bestemt med tanke på å oppnå ca. 50 mm avstand mellom armering og randsone kjerne (sikkerhetssone med tanke på eventuell senere kloridinntrenging mot armering fra borhull).

Detaljert lokalitet av kjernene er vist i Figur 8. Foto av elementene etter utboring av kjerner er vist i Figur 9.



FIGUR 8 LOKALITET AV KJERNER BORET UT I 2025. KJERNER MERKET T ER BORET I TOPP AV ELEMENTET, KJERNER MERKET M ER BORET MIDT I ELEMENTET, MENS KJERNER MERKET B ER BORET I BUNN AV ELEMENTET. (GRÅ SIRKLER MARKERER LOKALITET AV KJERNER BORET UT I 2022, DA BORET UT KUN FRA TIDEVANNS-/ NEDDYKKET SONE).



FIGUR 9 ELEMENTENE ETTER UTBORING AV KJERNER. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN

Kjernene ble tørket av med tørkepapir og merket med elementnavn (A1–H1) og posisjon (T=topp=luftsone, M=midt=tidevannssone eller B=bunn=neddykket sone). Pil mot flate mot NØ.

Kjernene ble deretter pakket i tynnplastfilm og plastpose som ble tapet godt sammen og merket før de ble lagt i pallekasse for biltransport til Sentrallaboratoriet, se foto i Figur 10.



FIGUR 10 PLASTINNPÅKEDDE OG MERKEDE KJERNER FRA ELEMENT D1–H1. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN.

5 Reparasjon av borhull og tilbakesetting av elementer

Borhullene ble reparert 10/9–2025, iht. følgende prosedyre:

- Borhullene ble skylt med ferskvann og tørket til overflatetørr tilstand ved forsiktig bruk av blåselampe.
- Betongflatene i hullet ble påført Mapepoxy LR i et jevnt sjikt, med kost, i hele borhullets dybde. Ved påføring var det åpent under bjelken, slik at drypp fra kosten traff asfalten under.
- Før mørtling ble elementene jekket opp ved bruk av en luftpute, slik at en fikk plassert et forskalingsbord på en lekt under hvert av hullene. For å sikre tilstrekkelig klemming mot elementet ble det ved behov brukt kiler mellom lekter og asfalt.
- Hullene ble mørtlet igjen med Mapei Confix, vått i vått med epoxyen.
- Etter avstrykning ble toppflata tildekket med plast og forskalingsplate/lekt.

Foto tatt under og etter reparasjonsarbeidene er vist i Figur 11– Figur 13.

Elementene ble hengt på plass i rammesystemet igjen 12. september 2025. Det ble tatt foto av elementene og reparasjonene da elementene ble heist tilbake, se Vedlegg 4. Fotoene viser at mørtelen stort sett er fylt godt ned mot forskalingen, men at den ikke har fylt ut langs den «kransen» som kerneboret har sprengt ut ved gjennom boring. Dette viser at forskalingen har vært helt tett mot undersiden av elementet slik at det ikke har lekket mørtel/slam ut på overflata. Det ble ikke registrert riss i overgangen mellom mørtel og borehull (rapportert fra Jan Agnar Trengereid i e-post av 25/9–2025).



FIGUR 11 REPARASJON AV BORHULL A) ETTER PÅFØRING AV MAPEPOXY LR OG B) FYLLING MED MAPEI CONFIX. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN.



FIGUR 12 OPPJEKKING AV BJELKE VED BRUK AV LUFTPUTE OG PLASSERING AV FORSKALING. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN.



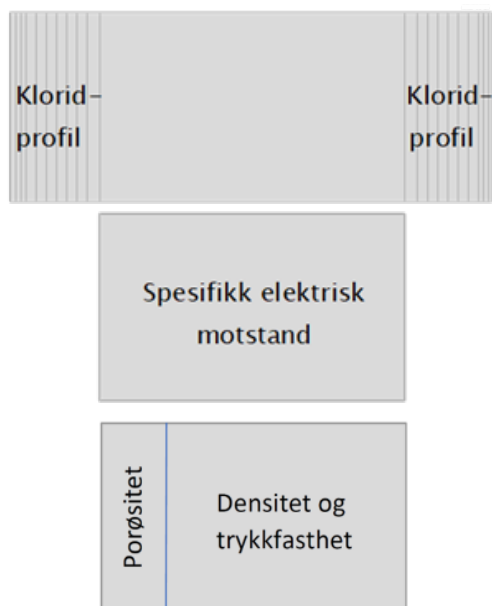
FIGUR 13 ELEMENTENE ETTER UTFØRT REPARASJON AV BORHULL. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN.

6 Laboratorieprøving ved Sentrallaboratoriet i Oslo

6.1 Mottak, oppbevaring og disponering av kjerner

Kjernene ble mottatt ved Statens vegvesens Sentrallaboratorium i Oslo 10/9–25. Kjernene ble lagt på kjølerom med temperatur +5 °C fram til fresing for kloridanalyser.

Kjernene ble disponert til framstilling av kloridprofiler, bestemmelse av spesifikk elektrisk motstand, porøsitet og trykkfasthet, se skisser i Figur 14.



FIGUR 14 DISPONERING AV KJERNER TIL LABORATORIEUNDERSØKELSER

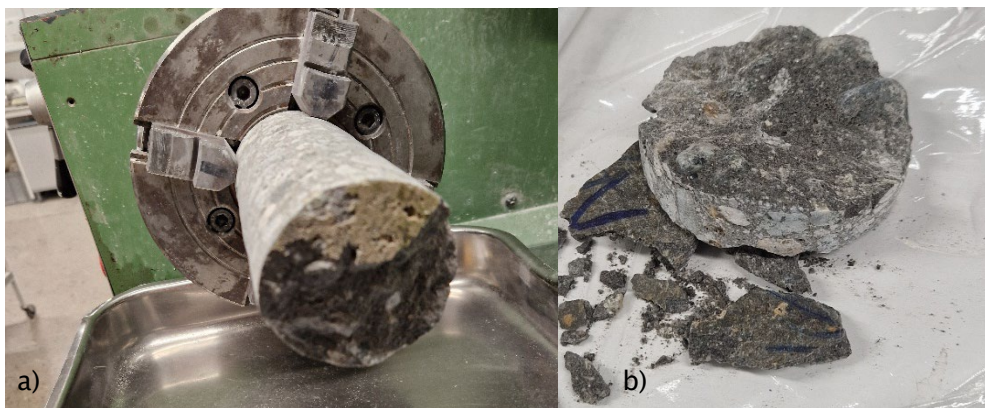
6.2 Framstilling av kloridprofiler og beregning av kloriddiffusjonskoeffisienter

Fresing av betongstøv for analyse av kloridinnhold ble utført i perioden 11–29/9–2026.

Kjernene ble frest fra begge endeflater, i følgende sjikt:

- T-kjerner: 0–2, 2–4, 4–6, 6–10, 10–14, 14–18, 18–22 mm
- M-kjerner: 0–2, 2–4, 4–6, 6–10, 10–14, 14–18, 18–22, 22–26, 26–30, 30–35 mm
- B-kjerner: 0–2, 2–4, 4–6, 6–10, 10–14, 14–18, 18–22, 22–26, 26–30, 30–35, 35–40 mm

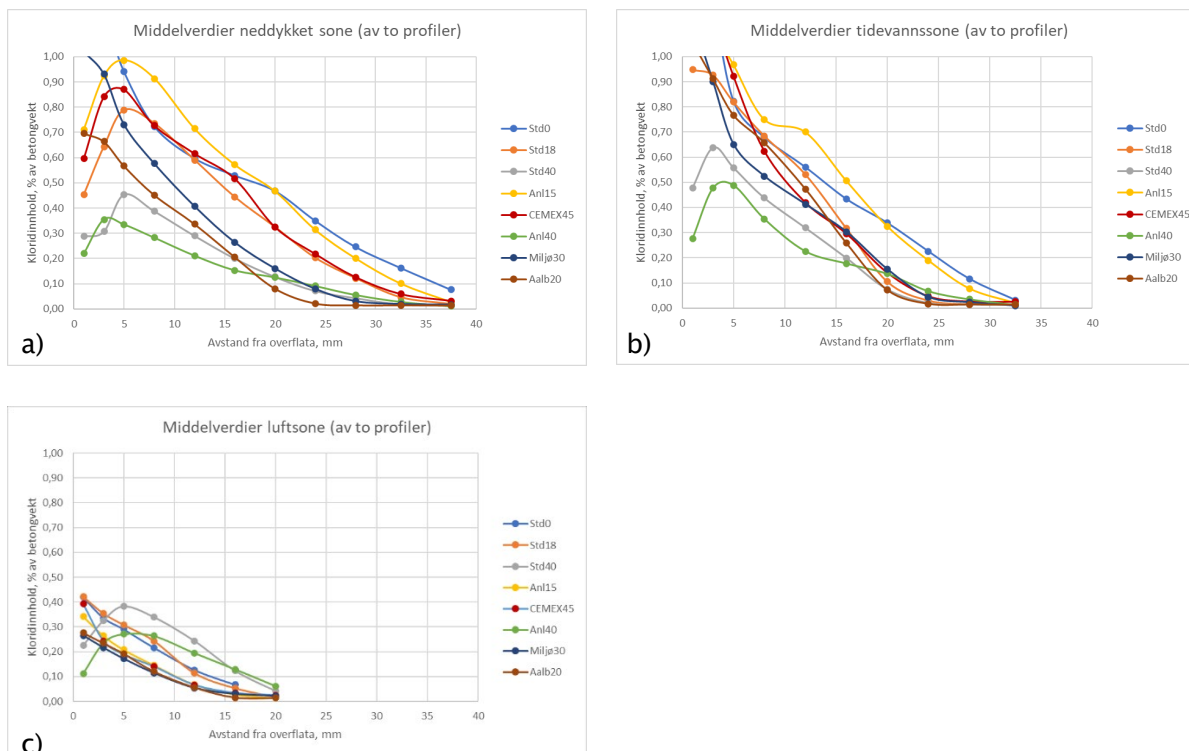
To av kjernene (D1–M og F1–M) fikk brudd/skade i NØ-overflatesjiktet under fresing fra SV-overflaten, se foto i Figur 15. Det aktuelle overflatesjiktet i kerne F1–M ble frest, og på tross av redusert freseareal ble det tilstrekkelige støvmengder til at alle sjiktene kunne analyseres som tiltenkt. For kerne D1–M var bruddet overflateparallelt i dybde ca. 18 mm. Den aktuelle skiven ble delt i to deler og den ene halvdel knust ned til støv for kloridanalyse. Den andre halvdel ble tatt vare på for eventuelle mikroskopianalyser for om mulig finne årsaken til bruddene.



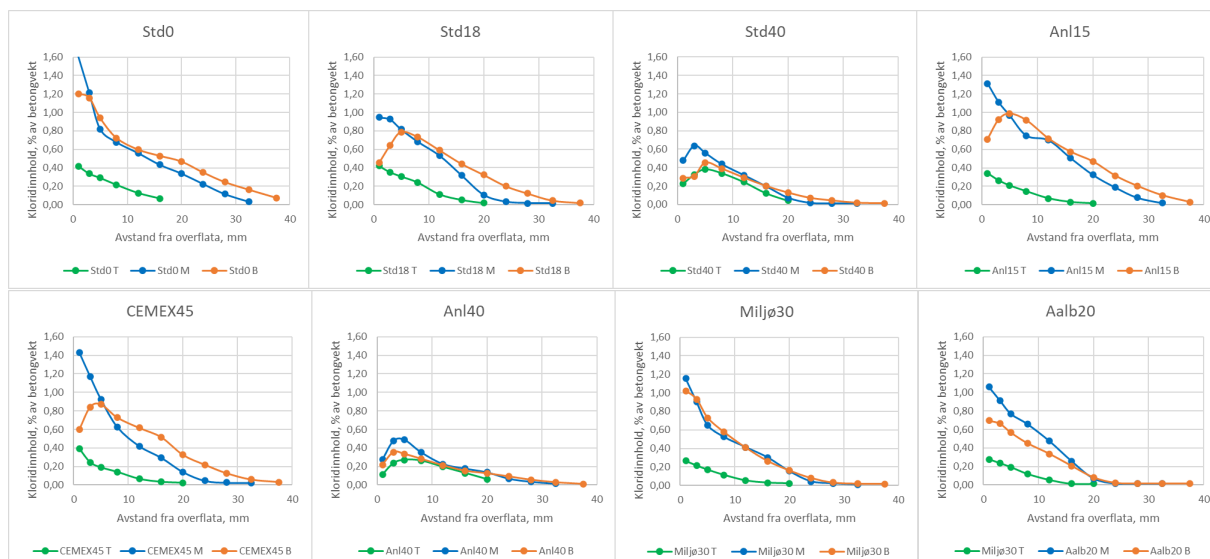
FIGUR 15 A) DELVIS BRUDD I NØ-OVERFLATESJIKTET FOR KJERNE F1-M. OG B) BRUDD I NØ-OVERFLATEN FOR KJERNE D1-M. BRUDDENE OPPSTO UNDER FRESING AV MOTSTÅENDE KJERNEENDER. FOTO: ERIK SVEEN, STATENS VEGVESEN

Kloridinnholdet i alle sjikt ble bestemt ved potensiometrisk titrering. Resultatene er angitt i % av tørr betongvekt.

Gjennomsnittets kloridprofiler (av to profiler pr. kerne) for alle betonger, hhv. i neddykket sone, tidevannssonen og luftsonen, er vist i Figur 16 og Figur 17. Alle enkeltresultater finnes i tabeller og figurer i Vedlegg 3. I vedlegget er profilene merket med lab-intern merking og resept-sone, f.eks. A1-T, i parentes. Flate mot SV og NØ er også angitt.



FIGUR 16 KLORIDPROFILER PR. BETONG, MIDDELVERDIER AV TO PROFILER (FRA NØ OG SV), A) I NEDDYKKET SONE, B) I TIDEVANSSONEN OG C) I LUFTSONEN. MERK: ANL40, MILJØ30 OG AALB20 HAR EKSPONERINGS-TID 6 ÅR, ØVRIGE BETONGER 7 ÅR.



FIGUR 17 KLORIDPROFILER PR. BETONG, MIDDELVERDIER AV TO PROFILER (FRA NØ OG SV), HHV. I LUFTSONEN (GRØNNE KURVER), TIDEVANSSONEN (BLÅ KURVER) OG NEDDYKKET SONE (B – ORANSJE KURVER). MERK: ANL40, MILJØ30 OG AALB20 HAR EKSPONERINGSTID 6 ÅR, ØVRIGE BETONGER 7 ÅR.

For hvert kloridprofil (enkeltprofil pr prøvestykke) er det beregnet en klorid-diffusjonskoeffisient og en overflatekonsentrasjon basert på Fick's 2. lov for ren diffusjon:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dC}{dx} \right)$$

Løsningen av ligningen kan uttrykkes på følgende måte:

$$C(x,t) = C_0 - (C_0 - C_i) \cdot \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right)$$

hvor: C_0 : Kloridkonsentrasjonen på betongoverflata, % av betongvekt
 C_i : Initielt kloridinnhold (bakgrunnsverdi), % av betongvekt
 x : Avstand fra betongoverflata, m
 t : eksponeringstiden, s
 D : kloriddiffusjonskoeffisienten, m^2/s
 erf : feilfunksjonen

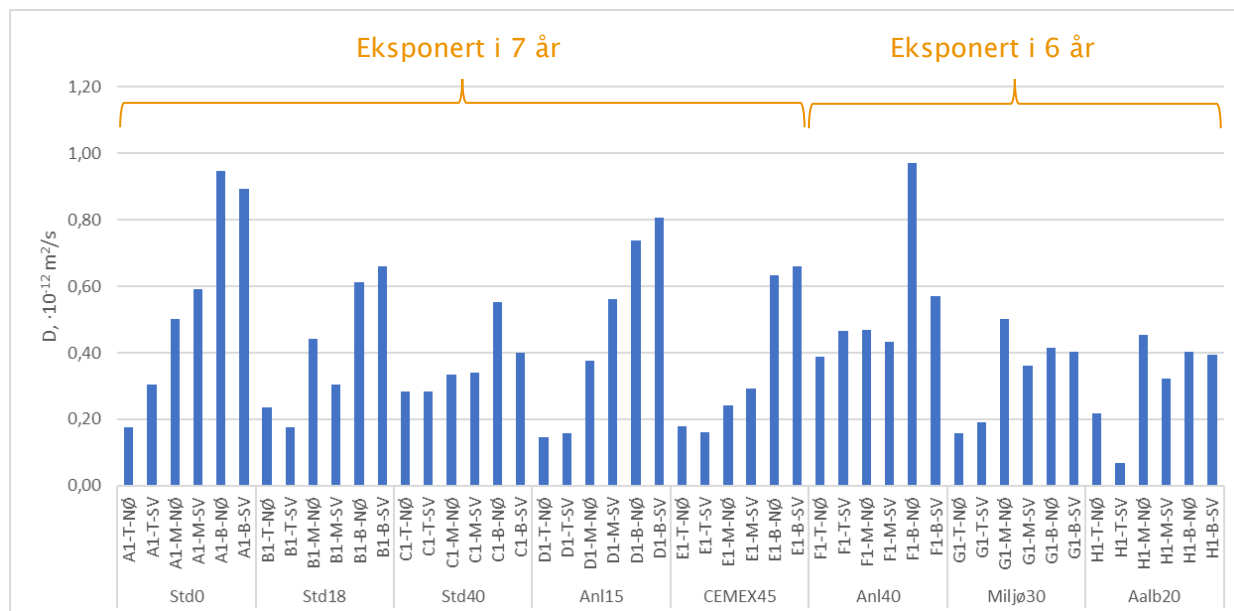
Diffusjonskoeffisienten, D , og overflatekonsentrasjonen, C_0 , bestemmes ved å tilpasse ligningen til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse ved minste kvadratots metode.

Første punkt i profilene er utelatt i beregningene, for noen få profiler er andre enkeltpunkter med avvikende posisjon utelatt. Slikt som inngår i beregningene, er merket med «ok» i tabellene i Vedlegg 3. Bakgrunnsnivået for kloridinnhold er satt til 0,015 %. Eksponeringstiden for de ulike reseptene er som følger:

- Resept A–E: Fra 31.01.2018 til 09.09.2025 – dvs. 2778 dager = 66672 timer
- Resept F–H: Fra 06.03.2019 til 09.09.2025 – dvs. 2379 dager = 57096 timer

Alle beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter (enkeltverdier pr kloridprofil) er vist i Figur 18.

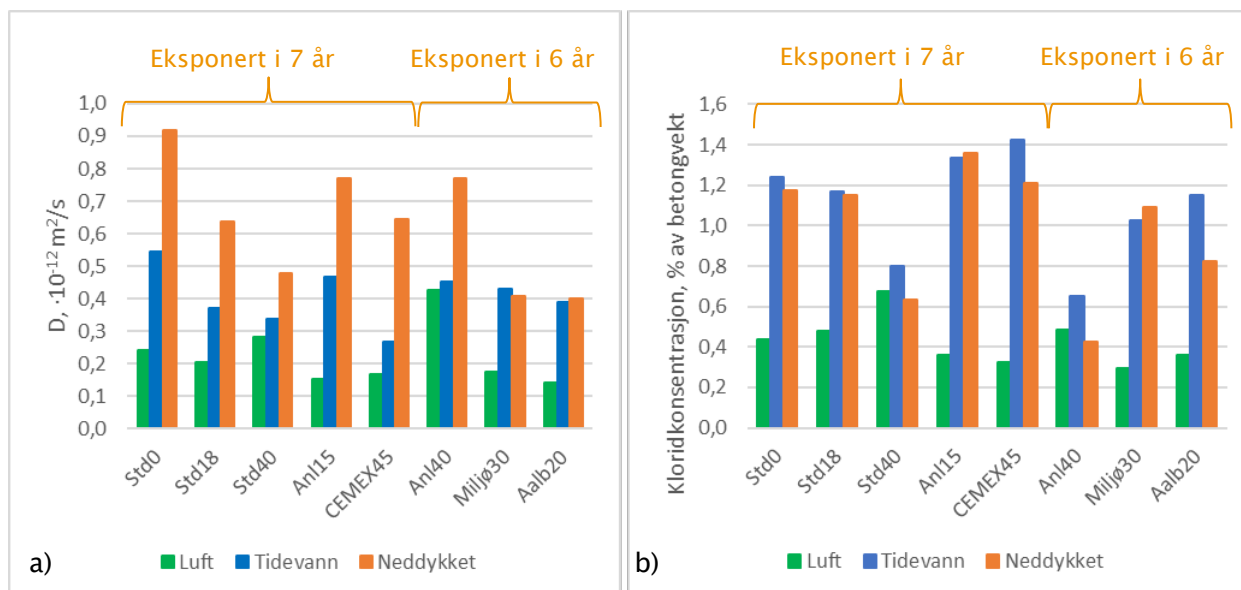
Beregnete gjennomsnittsverdier for kloriddiffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon, for hhv. luftsone, tidevannssone og neddykket sone, er vist i Tabell 5 og fremstilt grafisk i Figur 19.



FIGUR 18 BEREGNEDE KLORIDDIFFUSJONSKOEFFISIENTER, ENKELTVERDIER PR KLORIDPROFIL.

Tabell 5 Beregnede diffusjonskoeffisienter og overflatekonsentrasjoner, middelverdier av to profiler (NØ og SV)

Eksponerings- tid [år]	Betong	Diffusjonskoeffisienter [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]			Overflatekonsentrasjon [% av betongvekt]		
		Luft	Tidevann	Neddykket	Luft	Tidevann	Neddykket
7	Std0	0,24	0,55	0,92	0,435	1,243	1,176
	Std18	0,21	0,37	0,64	0,480	1,171	1,148
	Std40	0,28	0,34	0,48	0,675	0,799	0,632
	Anl15	0,15	0,47	0,77	0,362	1,337	1,359
	Cemex45	0,17	0,27	0,65	0,325	1,424	1,211
6	Anl40	0,43	0,45	0,77	0,483	0,649	0,423
	Miljø30	0,17	0,43	0,41	0,296	1,026	1,092
	Aalb20	0,14	0,39	0,40	0,359	1,153	0,822



FIGUR 19 BEREGNEDE A) KLORIDDIFFUSJONSKOEFFISIENTER OG B) OVERFLATEKONSENTRASJONER. MIDDELVERDIER AV TO PROFILER PR. EKSPONERINGSSONE.

6.3 Bestemmelse av spesifikk elektrisk motstand

Etter fresing ble midtstykket av kjernene lagt i vann før måling av elektrisk motstand iht. Statens vegvesens Håndbok R210 (2015), metode 443. Målingene ble utført ukentlig, i 4 uker etter at prøvene ble lagt i vann.

Spesifikk elektrisk motstand er beregnet som følger:

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l}$$

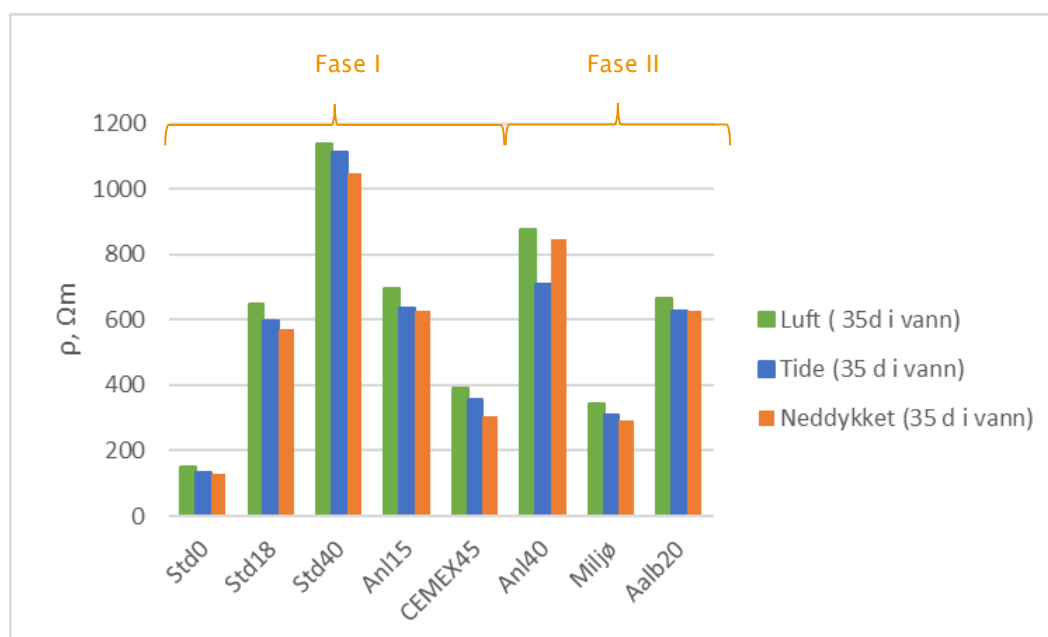
hvor: ρ : Spesifikk elektrisk motstand [Ωm]
 R : Målt elektrisk motstand [Ω]
 A : Areal på prøvens base (sylinder)
 l : Høyde av prøvestykke

Resultatene er vist i Tabell 6.

Tabell 6 Spesifikk elektrisk motstand målt på midtstykker fra kjerner boret ut fra luftsonen (T), tidevannssonen (M) og neddykket sone (B), hhv. 14, 21, 29 og 35 dager etter neddykking i vann. Temperaturen i vannet ved opptak prøvestykker for måling er angitt.

Tid i vann [dager]	Temp. i vann [°C]	Sone	Spesifikk elektrisk motstand [Ωm]							
			Std0	Std18	Std40	Anl15	CEMEX45	Anl40	Miljø	Aalb20
14	19,5	T	143	606	1084	641	354	711	312	648
		M	129	545	1033	568	316	547	271	593
		B	126	528	981	575	269	693	257	589
21	18,9	T	147	633	1130	680	379	794	332	666
		M	132	578	1080	606	342	623	295	623
		B	128	553	1023	604	291	769	276	619
29	19,4	T	143	620	1103	677	377	813	327	642
		M	129	573	1058	613	344	650	294	600
		B	124	547	1011	600	293	783	276	604
35	18,9	T	150	646	1137	696	389	876	343	667
		M	132	598	1110	635	358	707	311	627
		B	127	572	1047	625	306	844	291	628

Resultatene er svakt økende over måleperioden, med unntak av for Anl40 hvor motstanden øker betydelig, for alle prøvestykker (T, M og B). Resultatene synes ellers å svinge marginalt med temperaturen i vannet (iht. kjent temperatureffekt). Verdier målt etter 35 døgn i vann, hhv. for luftsonen, tidevannssonen og neddykket sone, er vist i Figur 20.



FIGUR 20 SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT ETTER 35 DØGN I VANN, FOR HHV. LUFTSONE, TIDEVANSSONE OG NEDDYKKET SONE.

6.4 Bestemmelse av porøsitet

Etter måling av elektrisk motstand ble det saget fra ei skive med tykkelse ca. 20 mm fra hvert av midtstykkene. Skivene ble benyttet til bestemmelse av betongens porøsitet iht. Statens vegvesens Håndbok R210 (2015), metode 426, begrenset prosedyre.

Middelverdier av tre prøvestykker pr. betong (fra sone T, M og B) er vist i Tabell 7.

Tabell 7 Resultater fra porøsitetmålinger, middelverdier av tre prøvestykker pr. betong

Betong	Sugmettet densitet, kg/m ³	Sugporøsitet, %	Makroporøsitet, %	PF
Std0	2380	13,3	2,9	0,18
Std18	2360	14,9	3,2	0,18
Std40	2290	16,4	4,1	0,20
Anl15	2360	15,4	3,2	0,17
Cemex45	2360	14,6	3,1	0,18
Anl40	2370	14,4	3,2	0,18
Miljø	2370	14,2	3,1	0,18
Aalb20	2360	14,1	3,2	0,18

6.5 Bestemmelse av trykkfasthet og densitet

Reststykket etter øvrig laboratorieprøving ble benyttet til bestemmelse av densitet og trykkfasthet, iht. Statens vegvesens Håndbok 210 (2015), metode 422 og 421.

Kjernediameter for alle prøvestykker var 74 mm og høyden varierende mellom 80–120 mm.

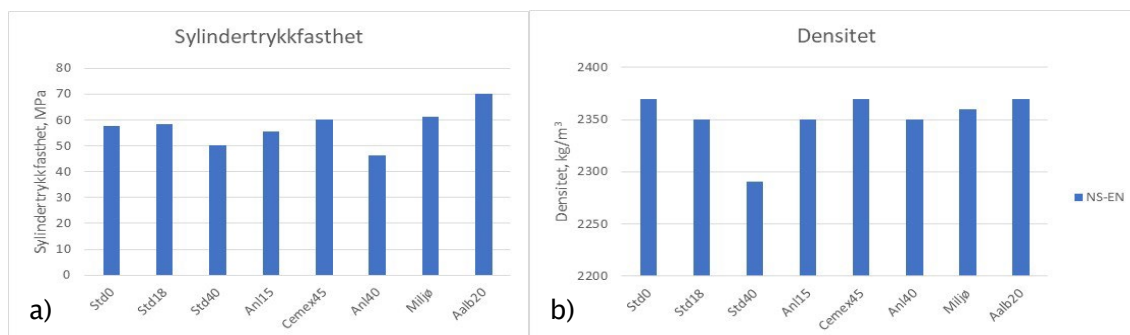
Alle trykkfasthetsresultater, omregnet til høyde/diameter = 2, er gitt i Tabell 8. Densitetsverdiene er gitt i Tabell 9. Middelverdier pr betong er framstilt grafisk i Figur 21.

Tabell 8 Sylindertykkfasthet, omregnet til h/d=2, bestemt på midtstykket av hver kjerne

Sone	Sylindertykkfasthet [MPa]							
	Std0	Std18	Std40	Anl15	Cemex45	Anl40	Miljø	Aalb20
Luft (T)	58,1	62,0	53,5	56,6	62,3	38,8	58,0	74,3
Tidevann (M)	57,5	53,2	45,1	51,3	55,8	46,8	61,1	71,2
Neddykket (B)	57,0	60,0	51,9	58,3	62,9	52,8	64,8	65,5
Middel	57,6	58,4	50,2	55,4	60,3	46,2	61,3	70,3

Tabell 9 Densitet bestemt på midtstykket av hver kjerne

Sone	Densitet [kg/m ³]							
	Std0	Std18	Std40	Anl15	Cemex45	Anl40	Miljø	Aalb20
Luft (T)	2400	2350	2290	2370	2390	2350	2360	2400
Tidevann (M)	2360	2350	2300	2350	2350	2360	2330	2360
Neddykket (B)	2350	2360	2290	2320	2370	2330	2380	2360
Middel	2370	2350	2290	2350	2370	2350	2360	2370



FIGUR 21 A) MÅLT SYLINDERTRYKKFASTHET (OMREGNET TIL H:D = 2,0) OG B) DENSITET. MIDDELVERDIER AV 3 RESULTATER PR BETONG.

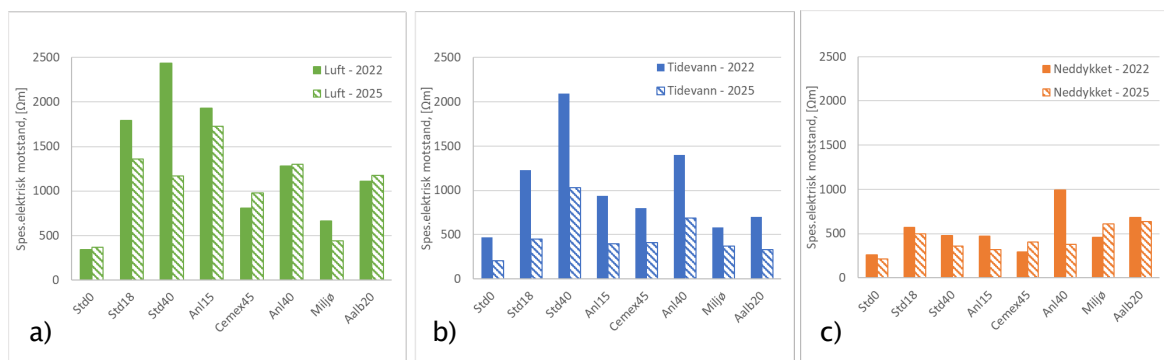
7 Oppsummering og vurdering av resultater

7.1 Spesifikk elektrisk motstand

Spesifikk elektrisk motstand er målt både i felt og i laboratorium (se i kapittel 4.5 og 6.3). Målinger i felt er gjort på overflaten av elementene, ved lufttemperatur ca. 15 °C og in-situ fuktinnhold. Målinger i laboratorium er utført på midtstykket av utborede kjerner, etter forutgående vannlagring i 14–35 døgn ved ca. 20 °C.

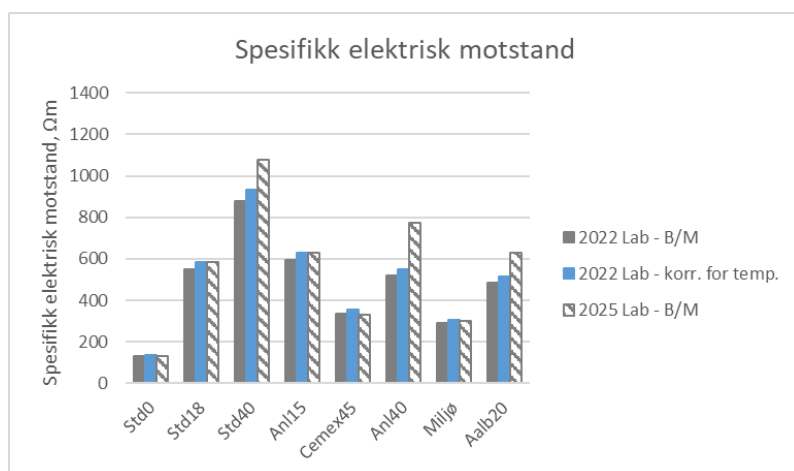
Feltmålingene (se Figur 5) viser for alle betongene, unntatt Miljø, høyere spesifikk elektrisk motstand i luftsonen enn i tidevanns-/neddykket sone. De to lavvarmebetongene (Std40 og Anl40) har høyere målt motstand i tidevannssonen enn i neddykket sone, for Miljø og Aalb20 er det målt noe høyere spesifikk elektrisk motstand i neddykket sone enn i tidevannssonen. For de øvrige betongene er det ingen signifikant forskjell mellom tidevann og neddykket.

Ser vi på utviklingen i feltmålt elektrisk motstand fra 2022 /4/ til 2025 (Figur 22), så ser vi en tydelig og generell tendens til at motstanden er redusert i tidevannssonen. Dette kan ha sammenheng med at fuktinnholdet i betongen i denne delen av elementene er høyere enn i 2022, men kan også skyldes andre forhold, som f.eks. redusert elektrisk motstand pga. økt kloridinnhold/6/. Lufttemperaturen ved måling i 2022 var ca. 12 °C, men pga. vekslende solpåkjenning den gang er det vanskelig å estimere temperatureffekten i forhold til 15 °C lufttemperatur i 2025. Endringene i luftsonen er ikke systematiske, og endringene i neddykket sone er marginale (med unntak for Anl40).



FIGUR 22 UTVIKLING I SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT I FELT FRA 2022 /4/ TIL 2025, I A) LUFTSONE, B) TIDEVANSSONE OG C) NEDDYKKET SONE.

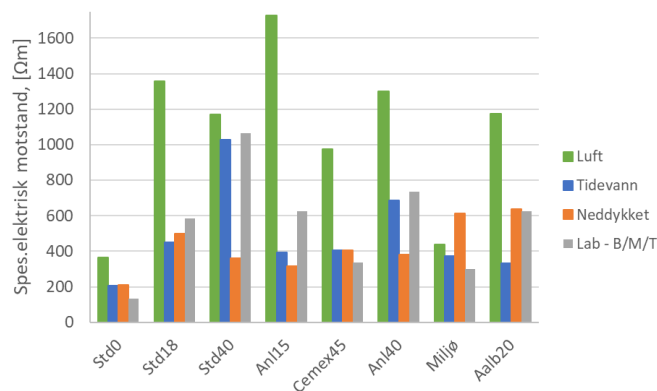
Spesifikk elektrisk motstand målt i laboratoriet viser en varierende grad av økning fra 2022 til 2025 (hhv. grå fylte og skraverte stolper i Figur 23), men med samme interne rangering av betongene. Gjennomsnittlig vanntemperatur var 21°C i 2022 og 19°C i 2025. Det er kjent at betongens elektriske motstand øker med avtagende temperatur. I Statens vegvesens retningslinje R211, metode 3.4.11 er det indikert at den empiriske temperaturavhengigheten for betongens spesifikke motstand kan ligge i området 3 til 5 % per grad Celsius. Dersom vi korrejerer for 2 °C temperaturforskjell med 6 % økning av 2022–resultatene (blå stolper i Figur 23) er det i praksis kun lavvarmebetongene (Std40 og Anl40) og Aalb20 som har en økning i spesifikk elektrisk motstand fra 2022 til 2025. Dette kan indikere at det har skjedd en fortsatt modning/hydratisering av disse betongene.



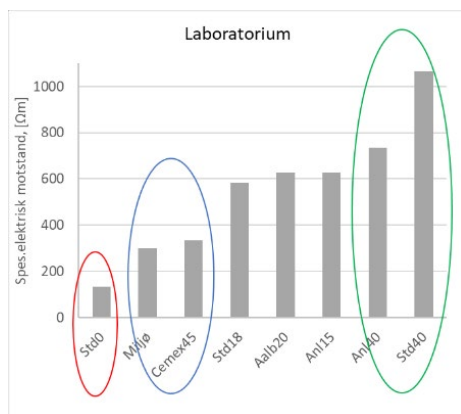
FIGUR 23 SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT I LABORATORIUM I 2022 /4/ OG 2025 (MIDDELVERDIER AV MIDTSTYKKER FRA TIDEVANNS- OG NEDDYKKET SONE). GRÅ STOLPER (HHV. FYLT OG SKRAVERT) ER MÅLTE VERDIER MENS BLÅ STOLPER ER VERDIER KORRIGERT MED 6 % FOR 2 °C HØYERE TEMPERATUR I 2022.

I Figur 25 er de laboratoriemålte motstandsverdiene presentert i stigende rekkefølge. Figuren viser at referansebetongen med ren portlandsement (Std0) har lavest motstand (130 Ωm), etterfulgt av betongene med slaggsementer (Miljø og Cemex45, med 300 og 340 Ωm). Deretter følger betongene med 15–20 % flygeaske (Std18, Anl15 og Aalb20, med 580, 630 og 630 Ωm), mens lavvarmebetongene med 40 % flygeaske har de høyeste motstandene (Anl40 og Std40, med 730 og 1070 Ωm). Dette samsvarer med tidligere prosjekresultater og generell erfart kunnskap om at tilsetning av flygeaske i betongen øker den spesifikke elektriske motstanden.

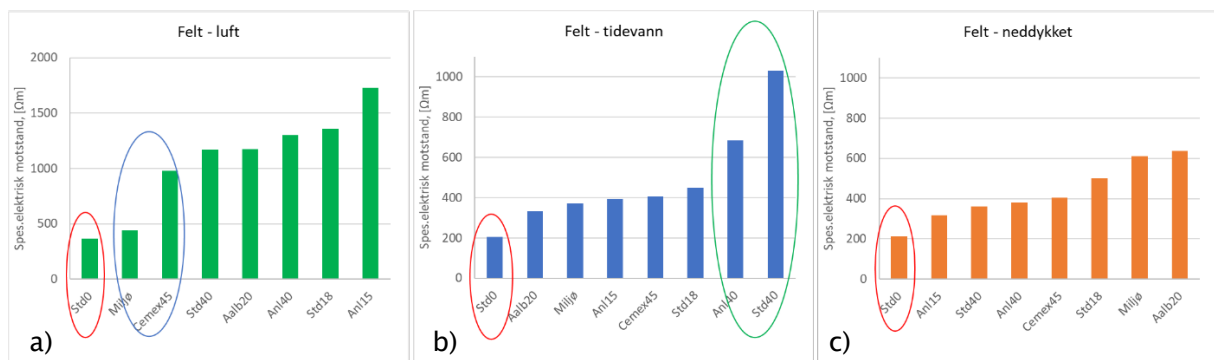
En sammenstilling av felt- og laboratoriemålte verdier for spesifikk elektrisk motstand er vist i Figur 24. Det er vanskelig å se noen sammenhenger eller generelle trender. I stedet for å sammenligne absoluttverdier målt i felt og laboratorium, så er det valgt å se på hvordan feltverdiene i de ulike sonene rangerer betongene (Figur 26), i forhold til den laboratoriebaserte rangeringen (Figur 25).



FIGUR 24 SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT I FELT (ULIKE SONER) OG LABORATORIUM (MIDDELVERDIER AV MIDTSTYKKER) I 2025



FIGUR 25 SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT I LABORATORIUM I 2025 (MIDDELVERDIER AV MIDTSTYKKER). BETONGENE ER SORTERT ETTER STIGENDE VERDIER. STD0 HAR LAVESTE VERDI (MERKET MED RØD RING), DERETTER FØLGER SLAGGSEMENTENE (BLÅ RING), SV-STANDARDBETONGENE MED 15–20 % FLYGEASKE OG LAVVARMEBETONGENE MED 40 % FLYGEASKE (GRØNN RING)



FIGUR 26 SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT I FELT I 2025, I HHV. A) LUFTSONEN, B) TIDEVANSSONEN OG C) NEDDYKKET SONE. BETONGENE ER SORTERT ETTER STIGENDE VERDIER. RINGENE MARKER DE BETONGENE SOM ER RANGERT LIKT MED LAB-RANGEREN I FIGUR 25. MERK AT VERTIKALAKSEN I FIGUR A) HAR MAKS VERDI 2000 ΩM

Figur 25 og Figur 26 viser at de to metodene (lab og felt) rangerer Std0-betongen lavest, uavhengig av eksponeringssone i felt. Videre at slaggbetongene er rangert å ha «nest lavest» motstand i luftsonen og lavvarmebetongene høyest motstand i tidevannssonen.

I luftsonen (Figur 26a, merk at y-aksen har avvikende maks-verdi) er betongen lite påvirket av sjøvannet og det grunn til å anta at betongen er mye tørrere enn i tidevannssonen og neddykket sone. Fuktinnholdet påvirker den elektriske motstanden i stor grad, og det ser en også ved at motstandsverdiene i luftsonen er mye høyere enn i de sjøvannseksponerte sonene (alle flygeaskebetongene ligger $> 1000 \Omega M$). Som tidligere nevnt vil også kloridinnholdet i betongen påvirke den elektriske motstanden /6/, og i dette tilfellet kunne bidra til lavere elektrisk motstand i de sjøvannseksponerte sonene.

Det er ellers vanskelig å se en spesifikk årsak til de store forskjellene mellom felt og lab. Etter 3–4 års eksponering /4/ ble det pekt på forskjeller i temperatur mellom laboratorium og felt (hvor lufttemperaturen er lavere og hvor betongtemperaturen vil variere over tid og mellom elementene pga. ulik solpåkjenning etter opplegging av elementene på kaia), som en sannsynlig årsak til forskjellene mellom felt- og lab-verdier. Det er nok absolutt medvirkende, men ettersom laboratorieverdiene er bestemt på indre deler av betongelementene, og altså ikke har vært i kontakt med det ytre miljøet, er det også grunn til å anta at overflateeffekter i felt (kjemisk interaksjon med sjøvannet, herunder kloridinntrenging) kan være med å forklare de observerte forskjellene.

I rapporten fra 3–4 årsprøvingen /4/ er det gjort sammenstillinger mellom ulike laboratoriemålinger utført på vannlagrede (ca. 20 °C) terninger og sylindre støpt samtidig med elementene. Disse resultatene er også sammenholdt med motstandsverdier målt på 3-års feltbetong. Det henvises til denne rapporten for nærmere studier av disse resultatene.

7.2 Elektrokjemisk potensial (EKP)

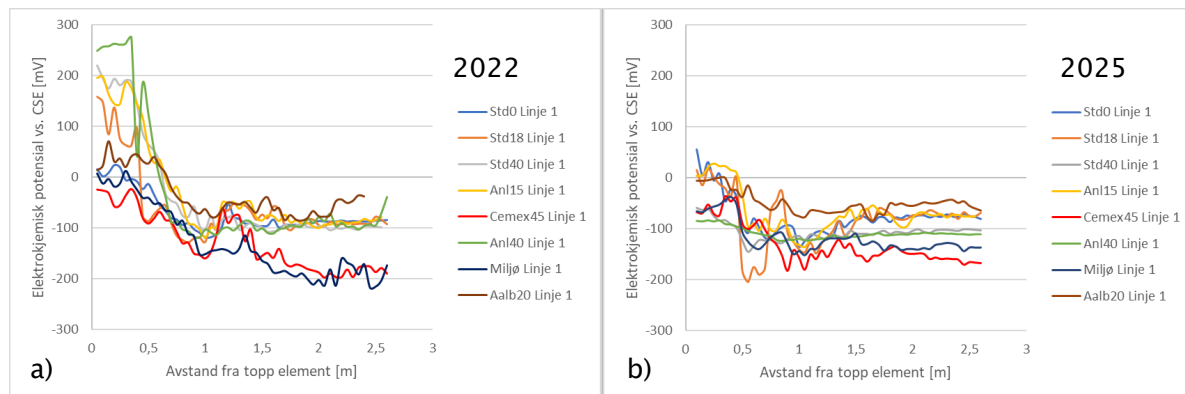
Resultater fra elektrokjemiske potensialmålinger benyttes til å vurdere sannsynligheten for pågående armeringskorrosjon. I vurderingene vektlegges både absoluttverdier og lokale potensialsprang. For vurdering av absoluttverdier benyttes ofte grenseverdier iht. ASTM C876–15 Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, se Tabell 10.

Tabell 10 Grenseverdier for vurdering av korrosjonsrisiko

Målte potensialer [mV vs. Cu/CuSO ₄]	Sannsynlighet for korrosjon
$E > -200$	Lav
$-200 > E > -350$	Moderat
$-350 > E > -500$	Høy
$E < -500$	Alvorlig

Når det gjelder lokale potensialsprang, så antas det at et potensialsprang på mer en 150–200 mV i samme eksponeringsone kan indikere korrosjon (lokal pitting/groptæring).

Overflatemålte potensialer (målelinje 1) fra 2025 er sammenstilt med resultater fra 2022 i Figur 27.

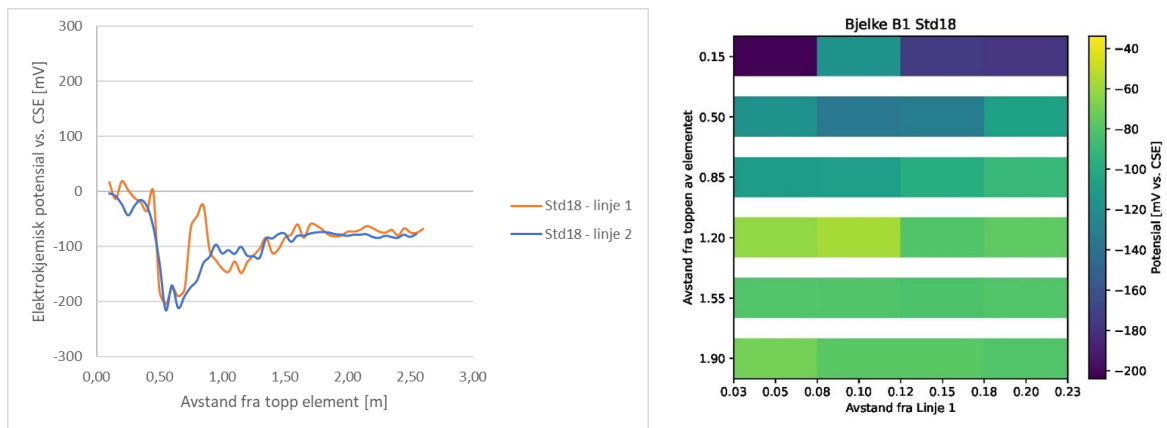


FIGUR 27 RESULTATER FRA EKP-MÅLINGER (VS. CSE) FOR ALLE ELEMENTER, LANGS MÅLELINJE 1, MÅLT I A) 2022 /4/ OG B) 2025

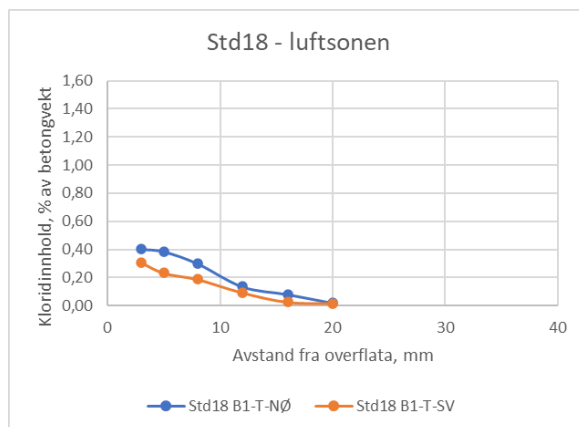
I 2022 ble det observert en tydelig forskjell i potensialene mellom luftsonen og tidevanns-/ neddykket sone (Figur 27 a)), hvilket ble antatt å kunne tilskrives forskjeller i betongens fuktighet og oksygenivå. I 2025 er disse forskjellene betydelig redusert.

I 2022 ble det videre registrert at armeringen i slagg-betongene (Miljø og Cemex45) hadde lavere potensialer enn armeringen i de andre betongene. Dette gjelder fortsatt i neddykket sone i 2025, men potensialene ligger nå noe høyere, og nærmere de øvrige betongene. At betonger med slaggsementer har lavere «utgangspotensialer» (før korrosjon) sammenfaller med observasjoner fra de instrumenterte elementene /5/, samt internasjonal litteratur /7, 8, 9/.

For element B (Std18) er det målt relativt lave potensialer og store sprang i luftsonen, i området 0,5 til 0,7 m fra topp element. Sprangene er målt på begge enkeltlinjene, men mest uttrykt langs linje 1, se Figur 28a). I tillegg er det målt relativt lave potensialer og sprang langs den øverste bøylen, se Figur 28b). Hvorvidt dette er en indikasjon på at det foregår lokal korrosjon pga. defekter i betongen eller om det skyldes andre lokale forhold er ikke mulig å fastslå. Målt kloridinnhold i luftsonen av elementets NØ side (Figur 29) gir i alle fall ingen indikasjoner på at kloridene har nådd armeringen (overdekning til bøylen er 40 mm).



FIGUR 28 EKP-MÅLINGER (VS. CSE) FOR ELEMENT B (MED STD18-BETONG), A) ENKELTMÅLINGER LANGS LENGDEARMERING (TO MÅLELINJER) OG B) POTENSIALKART FOR BØYLENE



FIGUR 29 KLORIDPROFILER I LUFTSONEN FOR ELEMENT B (MED STD18-BETONG).

For ingen av de øvrige elementene er det målt potensialverdier som antyder pågående korrosjon. Alle potensialene er > -200 mV og det er ingen store sprang innenfor hver sone (luft, tidevann og neddykket). Størst kloridinntrenging er målt i neddykket sone i element A (Std0), hvor kloridinnholdet i dybde 38 mm er målt til 0,08 % av betongvekt, hvilket tilsier at betongen nær bøylearmeringen (overdekning 40 mm) nærmer seg en mulig kritisk grenseverdi (ofte estimert til 0,07–0,10 % av betongvekt). For de øvrige elementene er det ingen kloridmålinger som indikerer at kloridene har nådd inn til armeringen, så da er det heller ikke å forvente at potensialene skal indikere korrosjon.

7.3 Kloriddiffusjon og aldringseksponent

Det er stor forskjell på formen på kloridprofilene for de ulike betongene, se Figur 16.

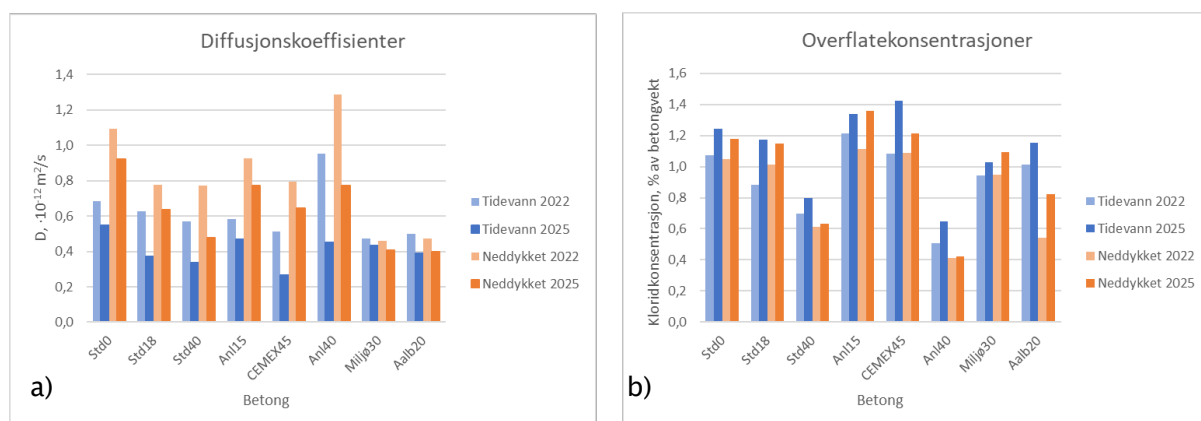
Ser vi på profilene for hver enkelt betong (Figur 17) så har de fleste betongene høyere kloridinntrenging i neddykket sone enn i tidevannssonen, og betydelig lavere kloridinntrenging i luftsonen enn i tidevann/ neddykket sone. Det er imidlertid grunn til å merke seg den spesielle situasjonen for lavvarmebetongene (Std40 og Anl40), hvor det er

relativt små forskjeller mellom kloridprofilene i de tre eksponeringssonene. Selv om disse to betongene har minst kloridinntrenging i tidevann/neddykket sone, så har de størst kloridinntrengingen i luftsonen – sammenlignet med de øvrige betongene. Hva som kan være årsaken til den relativt store kloridinntrengingen i luftsonen bør undersøkes nærmere.

De visuelle betraktningene av kloridprofilene gjenspeiler seg (naturlig nok) også i de beregnede kloriddiffusjonskoeffisientene (Figur 19 a). Diffusjonskoeffisientene er (markant) høyere i neddykket sone enn i tidevannssonen – for alle betonger uttatt Miljø og Aalb20. Videre er diffusjonskoeffisientene betydelig lavere i luftsonen enn i tidevanns- / neddykket sone – for alle betonger uttatt Std40 og Anl40.

I 2022, etter 3–4 års eksponering, var det en tendens til at diffusjonskoeffisientene i tidevannssonen var høyere på NØ-siden enn på SV-siden /4/, og det ble stilt spørsmål ved om dette var tilfeldig eller et resultat av eksponeringsbetingelsene (vind, ulik skjerming mot sjøsprøyt). Resultatene fra 2025 (Figur 18) viser ingen slike tendenser, verken i luftsonen eller tidevannssonen, og den observerte trenden fra 2022 anses derfor å være tilfeldig.

De beregnede kloriddiffusjonskoeffisientene er som forventet redusert fra 2022 til 2025, se Figur 30a). Samtidig er de beregnede overflatekonsentrasjonene gått noe opp, se Figur 30b).



FIGUR 30 UTVIKLING I A) DIFFUSJONSKOEFFISIENTER OG B) OVERFLATEKONSENTRASJON. FRA 2022 TIL 2025

Utviklingen av kloriddiffusjonskoeffisienten D over tid kan uttrykkes som følger:

$$D(t) = D_0 \left(\frac{t_0}{t} \right)^\alpha$$

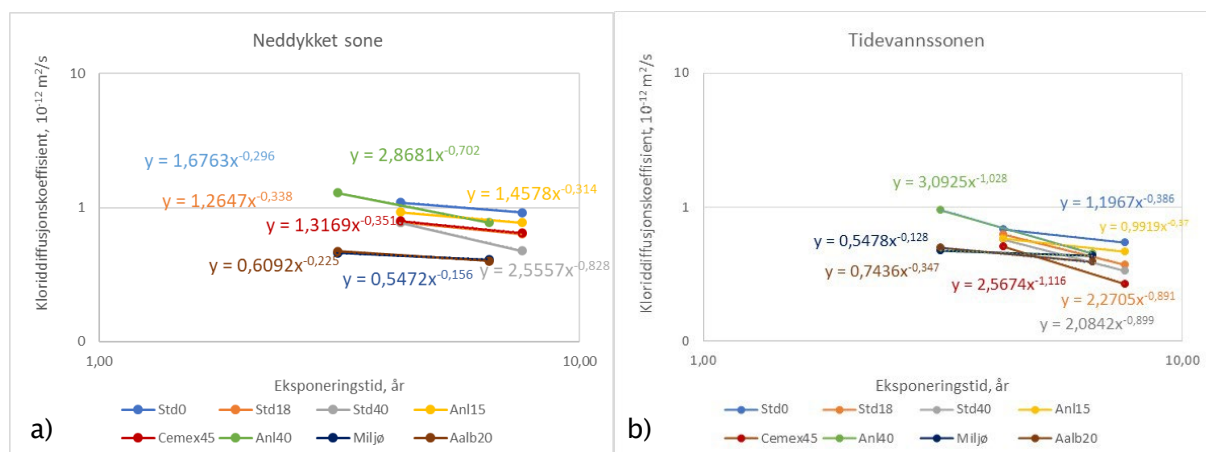
hvor α er en såkalt aldringseksponent.

Aldringseksponenten uttrykker en «tetting» av betongen, både som følge av økt modenhet og som følge av kjemiske/fysiske endringer i overflatesjiktet ved saltvannseksponeringen.

Ved beregning av α må en ha bestemt D ved minst to, helst flere, eksponeringstidspunkt.

For elementene i Austefjorden har vi foreløpig bare to prøvingsterminer, og basert på

resultatene fra disse er det beregnet α -er for de ulike betongene som vist i Figur 31 og i Figur 32a). De beregnede α -ene er også presentert i Tabell 11.



FIGUR 31 UTVIKLING AV KLORIDDIFFUSJONSKOEFFISIENTEN FRA 2022 TIL 2025 I LOG/LOG-SKALA FOR DE ULIKE BETONGENE I A) NEDDYKKET SONE OG B) TIDEVANSSONE. TRENDLINJENES EKSPONENT UTTRYKKER ALFA.

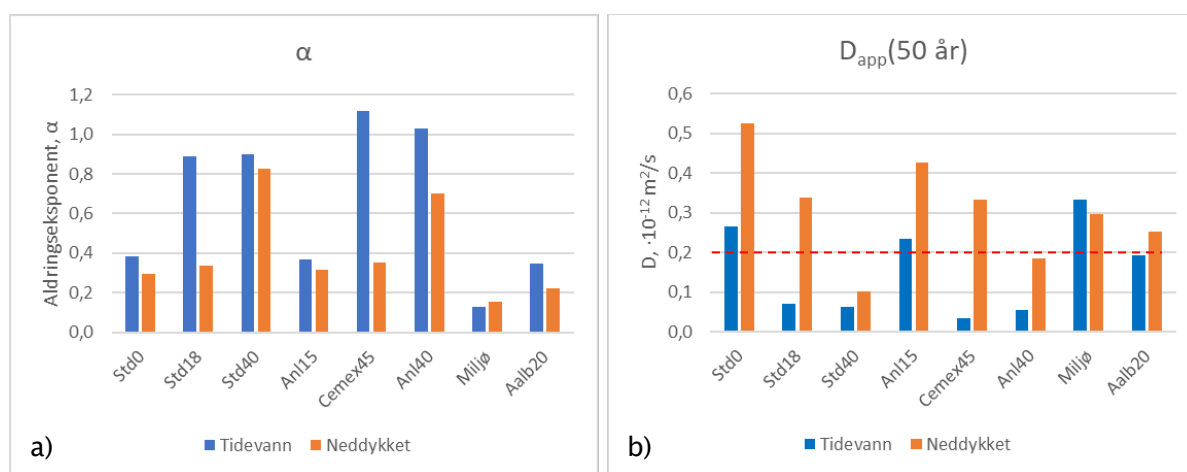
Ny Eurocode 2 introduserer et nytt konsept med bestandighetsklasser for betong (ERC = Environment Resistance Classes), som videreutvikles i NS-EN 206 med en underliggende norsk standard (NS). I motsetning til dagens preskriptive «deemed-to-satisfy» system, så er ERC et ytelsesbasert bestandighetskonsept, hvor det er en direkte kobling mellom betongens målte motstandsevne mot f.eks. kloridinntrenging og nødvendig armeringsoverdekning. Betongens motstandsevne mot klorider skal bestemmes ved laboratorietesting iht. NS-EN 12390-11, og avhengig av utviklingen i kloriddiffusjonskoeffisienten over tid, gi grunnlag for å klassifisere betongen i XRDS-klasser. Sammenhengen mellom XRDS-klasse og overdekningskrav er avhengig av dimensjonerende levetid (50 eller 100 år). Ny Eurocode 2 vil bli gjeldende i Norge fra 2028 og arbeidet med å utarbeide nasjonale retningslinjer innenfor dette ERC-konseptet pågår per dato (2026).

I dagens NS-EN 206:2013+A2:2021/NA:2025 er det i Tabell NA.16 stilt krav ved kvalifisering av sementer og bindemiddelkombinasjoner som det ikke er gitt anvendelsesregler for i standardens Tabell NA.14. Der framgår det at $D_{app}(50 \text{ år})$ ikke skal være høyere enn $0,2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ for MF40, dokumentert ved 2 års akselerert laboratorieprøving i 6 % NaCl-løsning.

For de undersøkte betongene er det gjort framskrivninger av D langs trendkurven til 50 år og de beregnede $D_{app}(50 \text{ år})$ er gitt i Tabell 11 og presentert grafisk i Figur 32b), hhv. for tidevannssonen og neddykket sone.

Tabell 11 Beregnede α -verdier og $D_{app}(50 \text{ år})$, hhv. i neddykket sone og tidevannssone.

Betong	α		$D_{app}(50 \text{ år})$	
	Tidevann	Neddykket	Tidevann	Neddykket
A Std0	0,39	0,30	0,26	0,53
B Std18	0,89	0,34	0,07	0,34
C Std40	0,90	0,83	0,06	0,10
D Anl15	0,37	0,31	0,23	0,43
E Cemex45	1,12	0,35	0,03	0,33
F Anl40	1,03	0,70	0,06	0,18
G Miljø	0,13	0,16	0,33	0,30
H Aalb20	0,35	0,23	0,19	0,25



FIGUR 32 A) BEREGNEDE ALFA-VERDIER OG B) FRAMSKREVNE DIFFUSJONSKOEFFISIENTER ETTER 50 ÅR, $D_{APP}(50 \text{ ÅR})$. STIPLET LINJE INDIKERER KRAVET TIL MF40-BETONG I NA:2025 TIL NS-EN 206, SOM GJELDER VED UTFØRT AKSELERERT LABORATORIEPRØVING I 6 % NaCl-LØSNING.

Som det framgår av resultatene, er det for enkelte betonger betydelige forskjeller mellom de to eksponeringssonene.

Dersom en legger den ovennevnte grenseverdien på $0,2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ til grunn, så er det kun lavvarmebetongene (Std40 og Anl40) som tilfredsstiller kravet i begge sonene. Ellers ser en at Std18, Cemex45 og Aalb20 også tilfredsstiller kravet dersom en legger resultatene fra tidevannssonen til grunn. Ettersom grenseverdien gjelder for prøving i laboratorium, så kan det imidlertid diskuteres hvor relevant det er å vurdere resultatene for felteksponert betong opp mot 0,2-grensen.

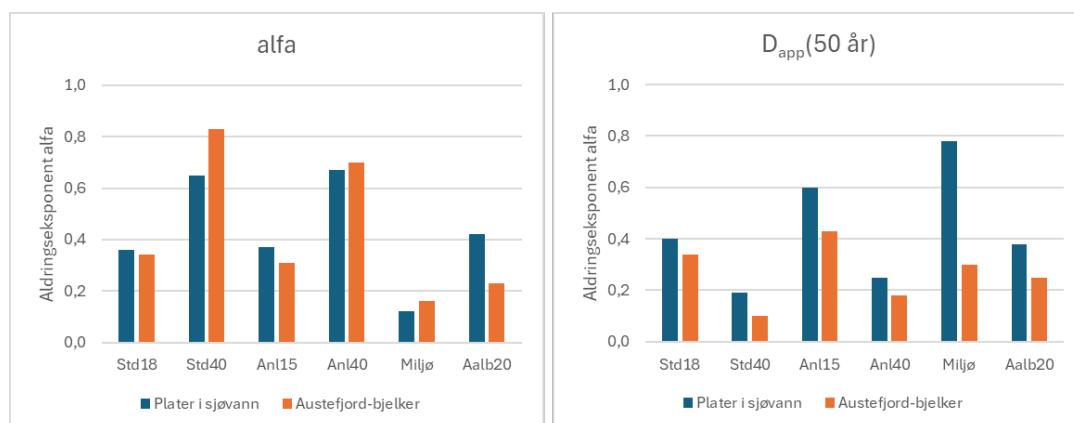
I en tidligere omfattende laboratorieundersøkelse av totalt 11 ulike Vegvesen-betonger (SV Standard og SV Lavvarme) /10/ er det målt kloridinntrenging i laboratoriestøpte plater neddykket i sjøvann i Statens vegvesens laboratorium i Oslo. Platene ble lagt i kar med ekte sjøvann ved 7 døgns betongalder og kloridprofiler er foreløpig fremstilt etter hhv. 1 år, 2,5 år, 5,5 år og 8 år. Med bakgrunn i beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter er det beregnet aldringseksponenter og $D_{app}(50 \text{ år})$ for alle betongene. Seks av betongene er støpt med samme betongresepter som Austefjord-betongene, og en sammenligning av de beregnede α -verdiene og $D_{app}(50 \text{ år})$ er derfor av interesse, se Tabell 12 og Figur 33.

Tabell 12 Sammenligning av beregnede α -verdier og $D_{app}(50 \text{ år})$, for «plater i sjøvann» (forskalt flater) /10/ og bjelker i Austefjord (neddykket sone).

Betong ¹⁾	α		$D_{app}(50 \text{ år})$	
	Plater i sjøvann	Austefjord-bjelker	Plater i sjøvann	Austefjord-bjelker
Std18 (StdFA)	0,36	0,34	0,40	0,34
Std40 (LV StdFA40)	0,65	0,83	0,19	0,10
Anl15 (AnlFA) ²⁾	0,37	0,31	0,60	0,43
Anl40 (LV AnlFA40)	0,67	0,70	0,25	0,18
Miljø (Miljø)	0,12	0,16	0,78	0,30
Aalb20 (AalbFA20)	0,42	0,23	0,38	0,25

1) Betongbenevnelse i /10/ er angitt i parentes.

2) Anlegg FA-sementen hadde 17 % flygeaske ved støp av platene mot 15 % ved støp av bjelkene.



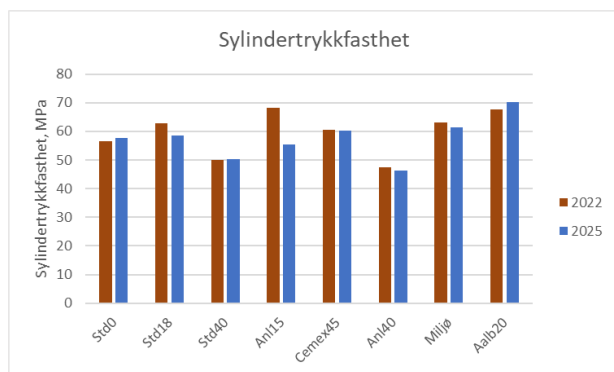
FIGUR 33 SAMMENLIGNING AV BEREGNED A) ALFA-VERDIER OG B) $D_{app}(50 \text{ år})$, FOR «PLATER I SJØVANN» (FORSKALT FLATER) /10/ OG BJELKER I AUSTEFJORD (NEDDYKKET SONE).

Av resultatene kan en se at det er god sammenheng mellom de beregnede α -verdiene, med unntak spesielt for Aalb20-betongen. Når det gjelder $D_{app}(50 \text{ år})$ så er verdiene systematisk høyere for plater i sjøvann, og forskjellen er spesielt stor for Miljø-betongen. Det bør bemerkes at verdiene for plater i sjøvann er basert på fire prøvingsterminer, mens det for bjelkene foreløpig kun er utført to prøvingsterminer. Betongens alder ved start eksponering er også forskjellig, hhv. 7 døgn for platene og ca. 90 døgn for bjelkene.

Etter undersøkelsene i 2022 /4/ ble det gjort en sammenligning mellom resultater fra felteksponeringen og akselerert kloridprøving ved 91 døgns alder, iht. NS-EN 206+NA, med 91 døgns lagring i 6 % NaCl-løsning /3/. For alle betongene i fase I (eksponert i 4 år) ble det funnet at rangeringen mellom de ulike betongene var lik mellom akselerert og naturlig eksponering. Internt i fase II var rangeringen også nokså lik uavhengig av eksponering, men her var forskjellen mellom akselerert og naturlig eksponering større enn i fase I. Med tanke på aldringseffekten, som gjør at diffusjonskoeffisientene avtar over tid (spesielt for betonger med flygeaske), ble det kommentert at situasjonen burde vært omvendt. Det er i denne rapporten ikke gjort nærmere studier eller vurderinger av sammenhengen mellom akselerert og naturlig eksponering.

7.4 Trykkfasthet

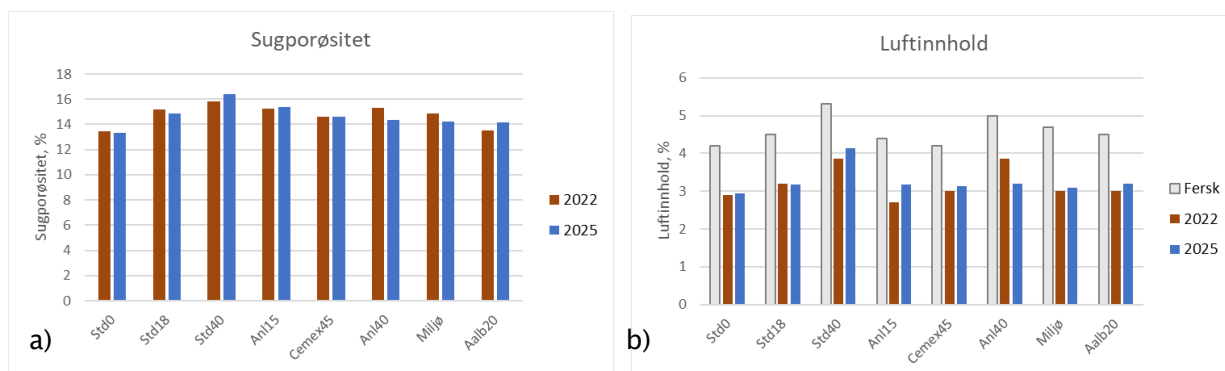
Midlere trykkfasthet bestemt på utborede sylindre etter 6–7 år (Figur 21) er sammenstilt med trykkfastheter bestemt etter 3–4 år /4/ i Figur 34. Figuren viser at utviklingen i trykkfasthet har stagnert.



FIGUR 34 MIDLERE SYLINDERTRYKKFASTHET, OMREGNET TIL $H:D = 2,0$, BESTEMT HHV. I 2022 /4/ OG 2025.

7.5 Porøsitet

Sug- og makroporøsiteten er en egenskap som ikke forventes å endres mye over tid, og bestemmelse av disse verdiene gjøres som en kvalitetskontroll av undersøkelsen. Verdiene for sug- og makroporøsitet (luftinnhold), bestemt hhv. i 2022 /4/ og 2025, er sammenstilt i Figur 35.



FIGUR 35 PORØSITETSVERDIER MÅLT HHV. I 2022 /4/ OG 2025. A) SUGPORØSITET OG B) LUFTINNHOOLD. LUFTINNHOOLDET ER SAMMENSTILT MED LUFT MÅLT I FERSK BETONG VED UTSTØPING AV BJELKENE /3/.

Det er naturlig nok små forskjeller i porøsitetsverdiene målt i 2022 og 2025, hvilket også medfører små endringer i den beregnede PF-faktoren (PorebeskyttelsesFaktor), se Tabell 13, som er ansett å gi uttrykk for betongens frostmotstand. Vanligvis antas det at en PF-faktor $\geq 0,25$ er uttrykk for en frostsikker betong i saltutsatt miljø, mens en PF-faktor $\geq 0,20$ er tilstrekkelig for betong i ferskvannsmiljø. Lave masseforhold/høy fasthet bidrar imidlertid også i stor grad til frostbestandighet, så ofte har «Vegvesen-betonger» god frostmotstand selv om PF-kriteriene ikke er tilfredsstillt.

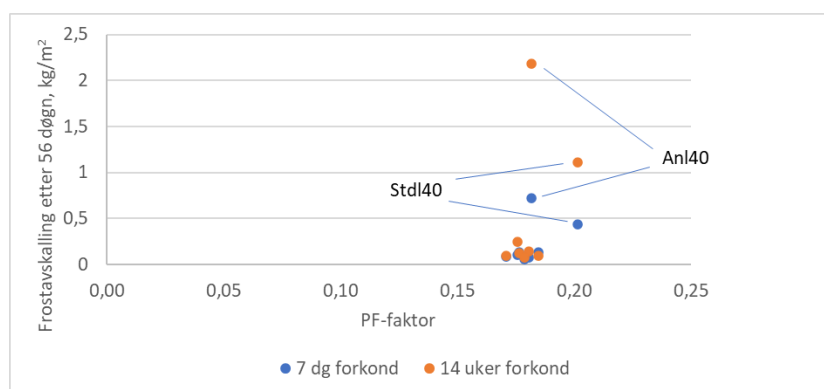
Tabell 13 Beregnede PF-faktorer, hhv. fra 2022 /4/ og 2025.

Betong	PF-faktor	
	2022	2025
A Std0	0,18	0,18
B Std18	0,17	0,18
C Std40	0,20	0,20
D Anl15	0,15	0,17
E Cemex45	0,17	0,18
F Anl40	0,20	0,18
G Miljø	0,17	0,18
H Aalb20	0,18	0,18

I rapporten etter undersøkelsene i 2022 /4/ ble det gjort en vurdering av PF-faktorene opp mot frostbestandigheten av betongene, som ble dokumentert i forbindelse med utstøping av feltelementene /3/. Det ble da støpt ut sylindre for tildanning av prøvestykker for frostprøving iht. to alternative prosedyrer. Prøvestykkene ble tildannet ved ca. 90 døgns alder (NB! som er et avvik fra SN-CEN/TS 12390-9, som beskriver start tildanning ved 21 døgns alder), for deretter å bli kondisjonert i klimakammer (20 °C og 65 % RF) i enten 7 dogn eller 14 uker.

Konklusjonen i /4/ var at det for Austefjord-betongene ikke er en sammenheng mellom PF-faktor og frostmotstand. Det var da de to lavvarmebetongene (Std40 og Anl40) med masseforhold 0,44, som hadde høyeste PF-faktor men dårligst frostmotstand, ved begge forkondisjoneringsprosedyrer.

Sammenhengen mellom PF-verdier fra 2025 og frostmotstand (frostavskalling etter 56 dogn) er vist i Figur 36. PF-faktoren for Anl40 er nå 0,18 (som for majoriteten av betongene), men Std40 har fortsatt den høyeste PF-faktoren (0,20) og en betydelig dårligere frostmotstand enn de øvrige SV Standard-betongene.



FIGUR 36 PF-FAKTOR BESTEMT FRA UTBORET BETONG PLOTTET MOT FROSTAVSKALLET MATERIALE FRA FROSTPRØVING AV DE SAMME BETONGER, UTFØRT FRA CA. 90 DØGNS ALDER/3/.

Betongenes makroporøsitet bestemt i 2022 /4/ og 2025 er sammenstilt med luftinnhold målt i fersk fase /3/ i Figur 35b). Verdiene er også gitt i Tabell 14. Som en kan se ligger luftinnholdet målt i herdnet betong på ca. 70 % (64–78 %) av luftinnholdet målt i fersk betong.

Tabell 14 Luftinnhold, målt i hhv. fersk fase /3/ og i herdnet betong

Betong	Luftinnhold [%]			Herdnet:Fersk, 2022	Herdnet:Fersk, 2025
	Fersk fase	Herdnet betong, 2022	Herdnet betong, 2025		
A Std0	4,2	2,9	2,9	69 %	70 %
B Std18	4,5	3,2	3,2	71 %	70 %
C Std40	5,3	3,9	4,1	73 %	78 %
D Anl15	4,4	2,7	3,2	61 %	72 %
E Cemex45	4,2	3,0	3,1	71 %	75 %
F Anl40	5,0	3,9	3,2	77 %	64 %
G Miljø	4,7	3,0	3,1	64 %	66 %
H Aalb20	4,5	3,0	3,2	67 %	71 %

I den tidligere nevnte laboratorieundersøkelsen av totalt 11 ulike Vegvesen-betonger (SV Standard og SV Lavvarme) ble det også jevnt over målt lavere luftinnhold i herdnet betong (iht. samme metode som brukt her) enn i fersk betong /10/. Der ligger imidlertid forholdet «herdnet:fersk», hvor herdnet porøsitet er målt ved 2 års betongalder, på ca. 80 % (69–87 %). Det kan bemerkes at i den tidligere undersøkelsen ble porøsitetsverdiene bestemt på skiver tilsaget fra 100 mm terninger.

8 Videre behandling av resultatene

Statens vegvesen har flere pågående prosjekter med langtidseksposering av betong i sjøvann, enten i felt (marine feltstasjoner) eller i laboratorium (kar med sjøvann). Resultater fra disse prosjektene er foreløpig kun rapportert i separate rapporter, men det er utarbeidet et enkelt notat som samler foreliggende resultater relatert til aldring for betonger innenfor Statens vegvesens kategorier SV-Standard og SV-Lavvarme /11/. Notatet er gitt som innspill til arbeidsgruppen innenfor SN/K7 som skal utarbeide en NS for Exposure Resistance Class concrete (ERC).

Elementene i Austefjorden feltstasjon er planlagt fulgt opp med en ny prøvingsrunde etter ca. 10–11 års eksponering. En tredje prøvingsrunde vil bidra til en mer pålitelig vurdering av betongenes aldringsegenskaper når det gjelder kloridinntrenging.

9 Referanser

- 1 Pedersen, B og Hornbostel, K (2020).: «Austefjorden feltstasjon – prøving av betong i marint miljø», Statens vegvesen rapport nr. 492.
[Etablering av feltstasjon for betong – Nasjonalt vitenarkiv](#)
- 2 Hornbostel, K og Pedersen, B (2019): «Ikke-instrumenterte og instrumenterte betong-elementer for langtidsprøving. Austefjorden feltstasjon – prøving av betong i marint miljø», Statens vegvesen rapport nr. 494.
[Betongelementer for langtidsprøving : Austefjorden feltstasjon – prøving av betong i marint miljø – Nasjonalt vitenarkiv](#)
- 3 Rodum, E (2021): «Laboratorieprøving av betonger (Fase I og II). Austefjorden feltstasjon – prøving av betong i marint miljø», Statens vegvesen rapport nr. 495.
[Laboratorieprøving av betonger \(Fase I og II\) – Nasjonalt vitenarkiv](#)
- 4 Rodum, E, Hornbostel, K og Pedersen, BM (2024): Kloridbestandighet, prøving etter 3–4 år Austefjorden feltstasjon – prøving av betong i marint miljø. Statens vegvesen rapport nr. 1016.
[Kloridbestandighet, prøving etter 3–4 år – Nasjonalt vitenarkiv](#)
- 5 Hornbostel, K (2019, 2020 og 2021, 2022, 2023): Feltstasjon Austefjorden – datalogging og datainnsamling, årsrapport 20xx. Statens vegvesen notat, mimenr. 20/75881.
- 6 Pedersen, B: Sementer med flygeaske og slagg: Lab- og felterfaringer. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015, Statens vegvesen rapport nr. 517.
[Sementer med flygeaske og slagg: Lab- og felterfaringer : Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015 – Nasjonalt vitenarkiv](#)
- 7 Elsener, B, Andrade, C, Gulikers, R, Polder, R and Raupach, M (2003): Half-cell potential measurements – potential mapping on reinforced concrete structures, RILEM TC 154-EMC: «Electrochemical Techniques for measuring metallic Corrosion» Recommendations, Materials and Structures, Vol. 36, page 461–471.
<https://www.rilem.net/images/publis/1218.pdf>
- 8 Garcia, V, François, R, Carcasses, M, Gegout, P (2014): «Potential measurement to determine the chloride threshold concentration that initiates corrosion of reinforcing steel bar in slag concretes», Materials & Structures, Volume 47, Issue 9, page1483–1499. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0130-5>
- 9 Bouteiller, V, Cremona, C, Baroghel-Bouny, V, Maloula, A (2012): Corrosion initiation of reinforced concretes based on Portland or GGBS cements: Chloride contents and electrochemical characterizations versus time, Cement and Concrete Research 42, pp. 1456–1467.
- 10 Bjøntegaard, Ø og Rodum, E (2024): Betong SV-Standard og SV-Lavvarme. Bestandighetsprøving; effekt av bindemiddeltype og masseforhold. Statens vegvesen rapport 1022. [Betong SV-Standard og SV-Lavvarme – Nasjonalt vitenarkiv](#)
- 11 Bjøntegaard, Ø og Rodum, E (2026): Chloride diffusion and aging properties of today's binders: Collection of results from the NewsCem and ZeroCarbCon projects, and on-going internal NPRA-projects. Notat (fortrolig).

VEDLEGG 1

Plan for feltarbeidene

AUSTEFJORDEN FELTSTASJON – ARBEIDER I UKE 37/2025

I uke 37/2025 (9-10. september) er det planlagt diverse arbeid på elementer i Austefjorden feltstasjon. I det etterfølgende er gitt en beskrivelse av det arbeidet som skal utføres i felt. *Oppgaver beskrevet med tekst i lilla kursiv utføres av Bård/Eva/Karla/Jason.*

Oppheising og utlegging av elementer på kai:

Fra hver av reseptene A-H skal det tas opp ett ikke-instrumentert element (se Tabell 1) for utboring av 1 stk kjerne fra neddykket del, 1 stk kjerne fra tidevannssone og 1 stk. kjerne fra luftsonen.

Tabell 1 Elementer som skal tas opp for nærmere undersøkelser

Merking ved inntrykk i toppflata og på stålplate							
A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1
STD 0 03.11.2017	STD 18 07.11.2017	STD 40 21.11.2017	ANL 15 13.11.2017	CEMEX 45 17.11.2017	ANL 40 04.12.2018	MILJØ 07.12.2018	AALB 20 11.12.2018

Følgende skal utføres:

- Mens elementet henger i kjettingen fjernes begroing med en barkespade
NB! Dette utføres mens elementet henger over utstikkerkai, slik at ikke kloridholdig «søl» blir med til oppleggsplassen:



- Elementene legges opp på strø lenger inn på kaia, NB! med hengekroken pekende mot høyre:



- Hvert element merkes med kortnavn (f.eks. A1) øverst på elementet:



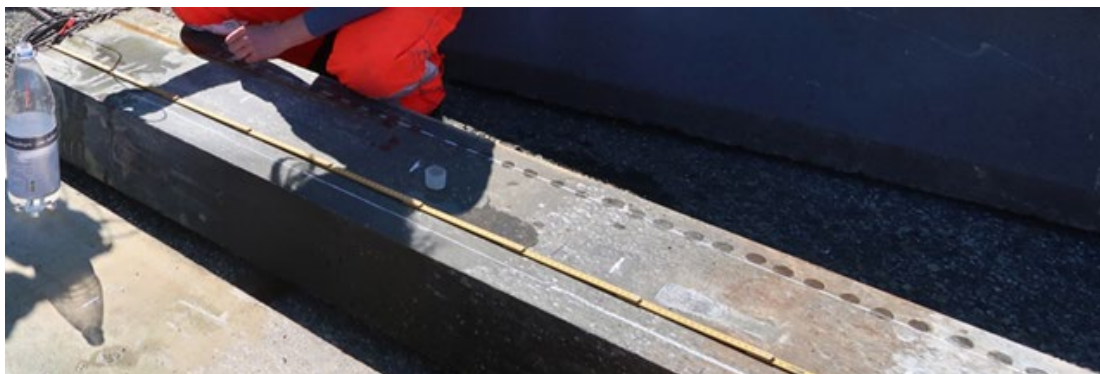
- Lengdearmering (ø12) og bøyler (7 stk. ø8 c/c 415 mm) lokaliseres og markeres med kritt:



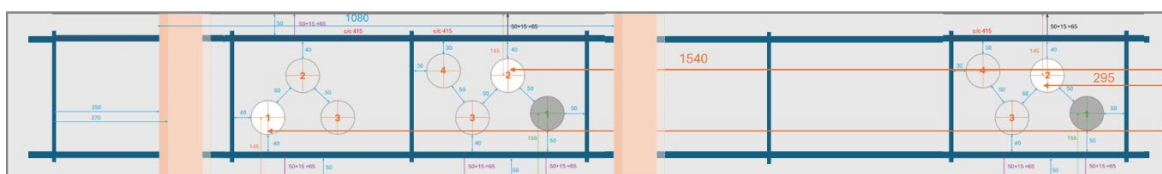
- Motstandsmålinger utføres mellom bøyle- og lengdearmering, 2-3 stk. målinger i hver «rute», fra topp til bunn (måling av luft-/betongtemperatur utføres samtidig):



- EKP-målinger måles med ca. 5 cm mellomrom langs hver lengdearmoring (måling av luft-/ betongtemperatur utføres samtidig):



- Lokaltet av senter for hver kjerne merkes på betongoverflaten:



Utboring av kjerner:

Kjernene bores med bordimensjon som gir kjerner med diameter ca. 75 mm.

Det skal bores 3 stk. gjennomgående kjerner (med lengde 190 mm) pr. element, 1 stk. nær topp av bjelken, 1 stk. ca. midt i bjelken og 1 stk. nær bunn av bjelken.

Det benyttes kun ferskvann til kjøling av bormaskin.

Bormaskinen festes fortrinnsvis ved vakuum. **NB! Bormaskinen skal ikke festes ved boring i elementet!**

Måling av karbonatiseringsdybde:

Øvre del av borhull i luftsonen skylles lett med vann (sprayflaske), lufttørkes og påføres tymolftalein for måling av karbonatiseringsdybde.

Merking, pakking og forsendelse av kjerner:

Umiddelbart etter utboring skal kjernene tørkes av, merkes og pakkes inn i plast.

Innpakkede kjerner legges på pall/i kasse som er plassert i skyggen, med bobleplast eller annet støtdempende materiale mellom.

Når alle 24 kjerner er boret ut (total vekt ca. 50 kg), pakkes kjernene for forsendelse til følgende adresse:

Statens vegvesen, Drift og vedlikehold
Laboratorier og grunnboring, Laboratorium sørøst
Fyrstikkalléen 1
0661 Oslo
Att: Trond Lorentzen, mobil: 928 68 914

NB! Pakken sendes med «Ekspress neste dag» (Bring) eller annen tilsvarende hurtig levering. (Varsle Trond Lorentzen når kjernene er sendt)

Reparasjon av borhull og utplassering av elementer:

Etter utboring av kjerner skal borhullene støpes igjen med reparasjonsmørtel. Reparasjonsarbeidet krever temperaturer over +5 °C. Hvis det blir regn under utførelsen må det etableres et «telt» over elementene slik at arbeidet kan utføres under tørre forhold.

Gjenstøping utføres i henhold til følgende prosedyre:

- Borhullet skylles med ferskvann og tørkes til overflatetørr tilstand (tørkepapir, evt. varmluftspistol)
- Det klemmes fast ei forskalingsplate på undersiden av elementet, evt med en tilpasset gummipakning over hullet for å sikre en tett forbindelse
- Betongflatene i hullet påføres Mapepoxy L i et jevnt sjikt, i hele borhullets dybde
- Hullet mørtles igjen med Mapei Confix, vått i vått med epoxyen
- Overflata tildekkes med plast/forskalingsplate

NB! Elementet må tildekkes i nødvendig grad slik at det ikke søles epoxy/mørtel på elementets overflater, hverken på under- eller overside!

Reparasjonsmørtelen skal herde 1-2 døgn før elementene plasseres ut igjen i rammesystemet. Før utplassering skal det kontrolleres at reparasjonsmørtelen har blitt godt utstøpt også på undersiden av elementet, og at det ikke er søl av reparasjonsmaterialer på overflatene. Reparerte områder skal fotograferes iht. nærmere beskrevet prosedyre (avtales på stedet).

05.09.2025 ERo

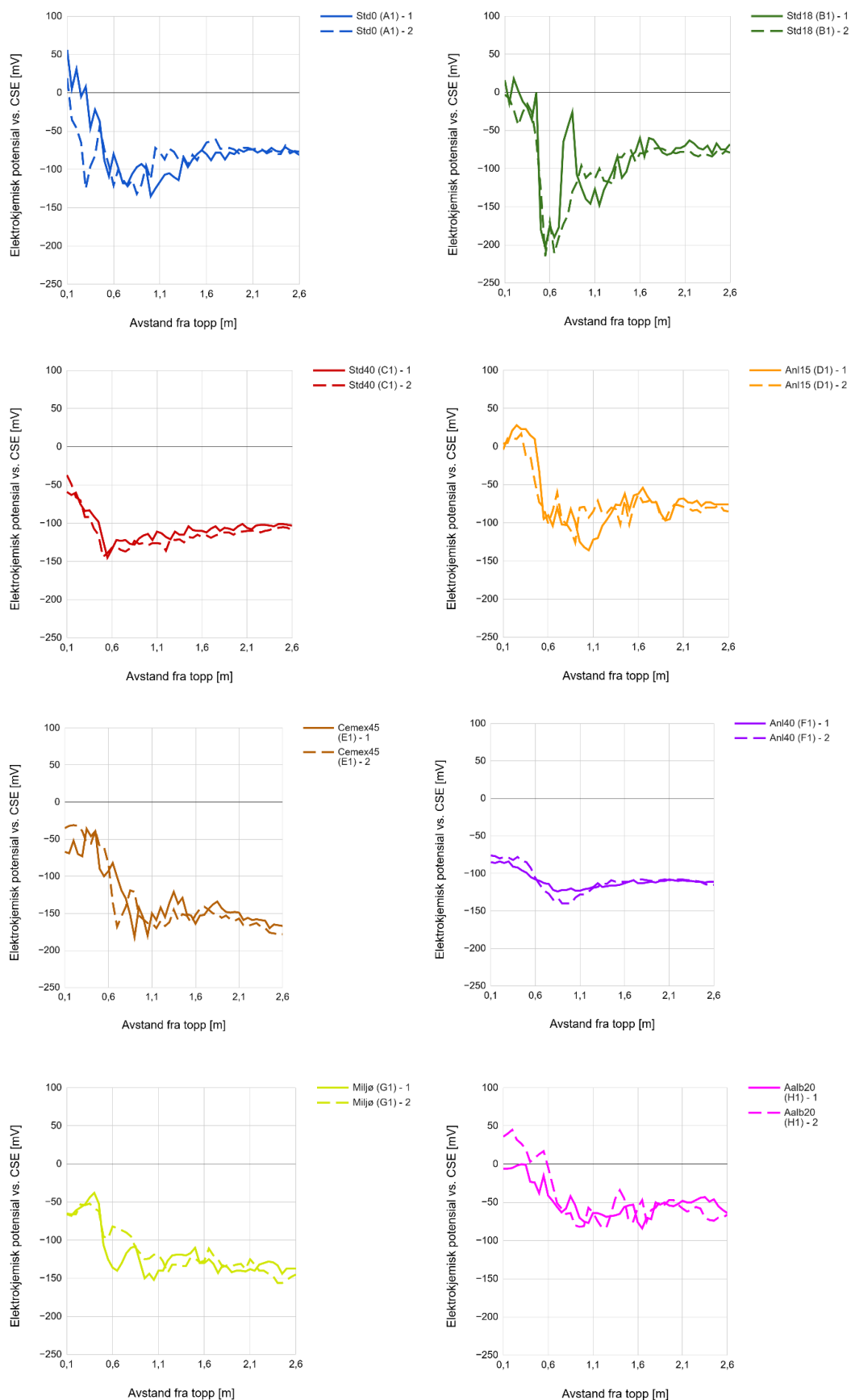
VEDLEGG 2

Elektrokjemiske potensialer

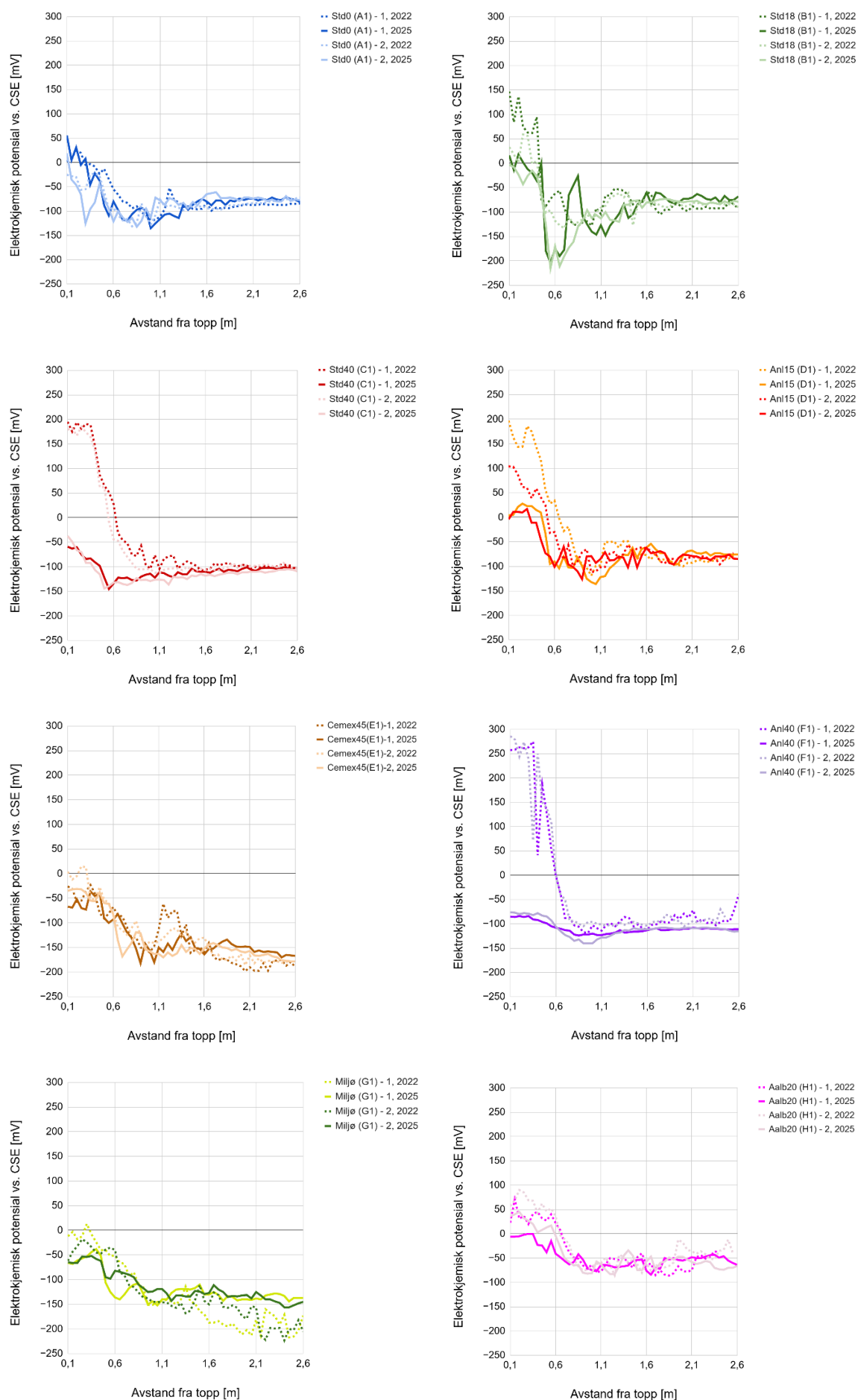
Vedlegg 2 – Resultater fra elektrokjemisk potensial (EKP) målinger

Tabell 1 Potensialer målt langs lengdearmring [mV vs. CSE]

Avstand fra topp (m)	Bjelke A1		Bjelke B1		Bjelke C1		Bjelke D1		Bjelke E1		Bjelke F1		Bjelke G1		Bjelke H1	
	Linje 1	Linje 2	Linje 1	Linje 2	Linje 1	Linje 2	Linje 1	Linje 2	Linje 1	Linje 2	Linje 1	Linje 2	Linje 1	Linje 2	Linje 1	Linje 2
0,10	56	19	16	-3	-59	-37	4	-4	-67	-35	-85	-76	-66	-65	-6	36
0,15	5	-35	-14	-8	-63	-49	5	11	-69	-32	-86	-77	-68	-66	-6	40
0,20	31	-46	18	-23	-60	-66	21	11	-52	-31	-84	-80	-61	-66	-5	45
0,25	-5	-65	2	-43	-75	-70	28	10	-70	-32	-86	-78	-57	-53	-2	32
0,30	8	-125	-12	-26	-84	-92	23	17	-73	-39	-84	-79	-53	-54	-0,1	27
0,35	-46	-96	-20	-15	-83	-92	23	-11	-36	-55	-91	-82	-44	-52	-0,5	20
0,40	-22	-82	-36	-26	-91	-107	15	-11	-46	-56	-92	-78	-38	-58	-23	3
0,45	-37	-44	0	-63	-98	-115	10	-45	-39	-38	-96	-83	-52	-62	-24	8
0,50	-88	-74	-180	-128	-122	-144	-32	-73	-90	-60	-99	-85	-106	-95	-38	13
0,55	-109	-95	-204	-215	-145	-139	-95	-80	-100	-61	-105	-93	-125	-98	-15	17
0,60	-80	-121	-175	-170	-134	-132	-90	-101	-93	-83	-108	-106	-136	-82	-41	-4
0,65	-98	-100	-190	-211	-122	-131	-104	-84	-82	-135	-110	-115	-140	-84	-48	-27
0,70	-118	-113	-177	-190	-123	-135	-80	-60	-101	-168	-113	-123	-130	-87	-56	-51
0,75	-119	-122	-65	-173	-122	-137	-102	-96	-119	-154	-114	-127	-117	-90	-63	-58
0,80	-106	-114	-45	-161	-127	-133	-103	-101	-130	-141	-122	-135	-110	-95	-58	-65
0,85	-97	-132	-26	-130	-128	-123	-82	-110	-152	-119	-124	-132	-108	-110	-42	-64
0,90	-93	-120	-108	-118	-120	-127	-99	-126	-182	-121	-122	-140	-129	-117	-53	-80
0,95	-99	-95	-125	-96	-116	-126	-125	-80	-142	-153	-122	-140	-150	-125	-70	-82
1,00	-135	-113	-140	-112	-114	-129	-132	-79	-156	-158	-120	-140	-144	-124	-75	-81
1,05	-125	-72	-146	-106	-122	-126	-136	-93	-180	-163	-123	-132	-152	-119	-77	-57
1,10	-116	-78	-127	-113	-111	-126	-122	-85	-150	-163	-123	-128	-140	-119	-64	-63
1,15	-107	-87	-148	-100	-113	-127	-120	-71	-159	-170	-121	-128	-140	-128	-64	-74
1,20	-105	-73	-128	-116	-118	-136	-104	-88	-142	-160	-120	-124	-127	-143	-66	-83
1,25	-110	-77	-116	-117	-121	-120	-96	-87	-155	-167	-118	-119	-120	-132	-69	-83
1,30	-114	-87	-103	-120	-111	-122	-87	-80	-136	-162	-113	-118	-119	-132	-68	-66
1,35	-85	-83	-84	-85	-115	-121	-76	-82	-121	-145	-118	-113	-119	-134	-67	-45
1,40	-97	-94	-112	-85	-115	-125	-77	-102	-137	-159	-117	-114	-120	-134	-65	-34
1,45	-87	-81	-104	-77	-104	-118	-62	-70	-129	-151	-116	-109	-117	-123	-56	-45
1,50	-80	-88	-84	-76	-109	-119	-83	-102	-151	-153	-116	-111	-110	-124	-54	-75
1,55	-75	-75	-78	-91	-110	-115	-64	-78	-153	-163	-115	-111	-130	-129	-53	-75
1,60	-80	-65	-60	-80	-110	-118	-62	-62	-164	-152	-113	-111	-130	-127	-76	-57
1,65	-88	-63	-84	-80	-112	-116	-54	-73	-153	-144	-111	-111	-125	-111	-84	-47
1,70	-78	-61	-60	-76	-107	-119	-65	-72	-152	-141	-109	-109	-131	-120	-70	-75
1,75	-78	-73	-62	-74	-104	-116	-73	-69	-144	-145	-113	-108	-143	-125	-72	-60
1,80	-87	-73	-70	-73	-110	-114	-73	-73	-138	-150	-113	-108	-133	-135	-50	-57
1,85	-78	-72	-79	-74	-106	-112	-88	-93	-134	-151	-112	-109	-135	-133	-53	-49
1,90	-80	-74	-82	-77	-107	-112	-97	-96	-143	-156	-111	-110	-142	-134	-50	-53
1,95	-74	-79	-80	-78	-109	-115	-95	-83	-148	-153	-112	-110	-140	-132	-54	-47
2,00	-77	-72	-73	-80	-104	-111	-78	-76	-149	-158	-110	-109	-140	-131	-55	-47
2,05	-74	-72	-73	-78	-101	-111	-69	-77	-148	-160	-110	-108	-141	-138	-52	-53
2,10	-74	-74	-70	-78	-106	-110	-68	-79	-149	-157	-108	-109	-138	-125	-48	-58
2,15	-78	-72	-63	-77	-108	-110	-73	-80	-159	-166	-109	-109	-140	-132	-50	-62
2,20	-75	-74	-67	-82	-103	-109	-74	-84	-156	-167	-110	-108	-132	-140	-50	-60
2,25	-77	-79	-73	-84	-102	-112	-71	-83	-159	-165	-109	-108	-130	-140	-47	-56
2,30	-72	-76	-75	-80	-102	-110	-78	-87	-158	-163	-110	-109	-128	-144	-44	-58
2,35	-76	-80	-70	-82	-103	-109	-73	-80	-159	-168	-110	-109	-129	-147	-43	-70
2,40	-77	-80	-80	-84	-104	-106	-73	-80	-160	-170	-111	-110	-133	-156	-49	-73
2,45	-71	-69	-67	-78	-101	-106	-76	-80	-170	-176	-111	-111	-144	-156	-46	-74
2,50	-75	-79	-75	-82	-101	-105	-76	-76	-165	-177	-112	-114	-137	-152	-55	-70
2,55	-77	-76	-75	-77	-102	-106	-76	-84	-166	-178	-111	-116	-137	-148	-60	-70
2,60	-81	-77	-68	-79	-103	-109	-76	-85	-167	-178	-111	-115	-137	-145	-64	-66



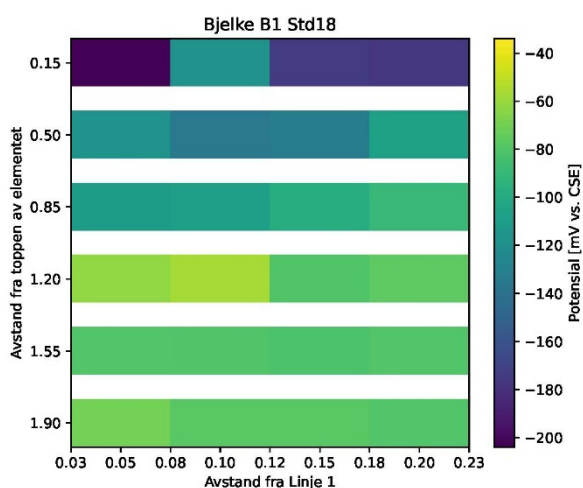
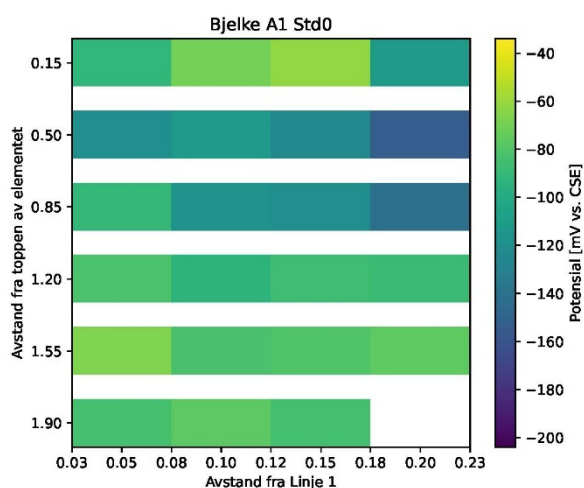
Figur 1 Elektrokjemiske potensialer målt langs lengdearmoring fra topp til bunn. Begge målelinjer for alle bjelker (A1-H1).

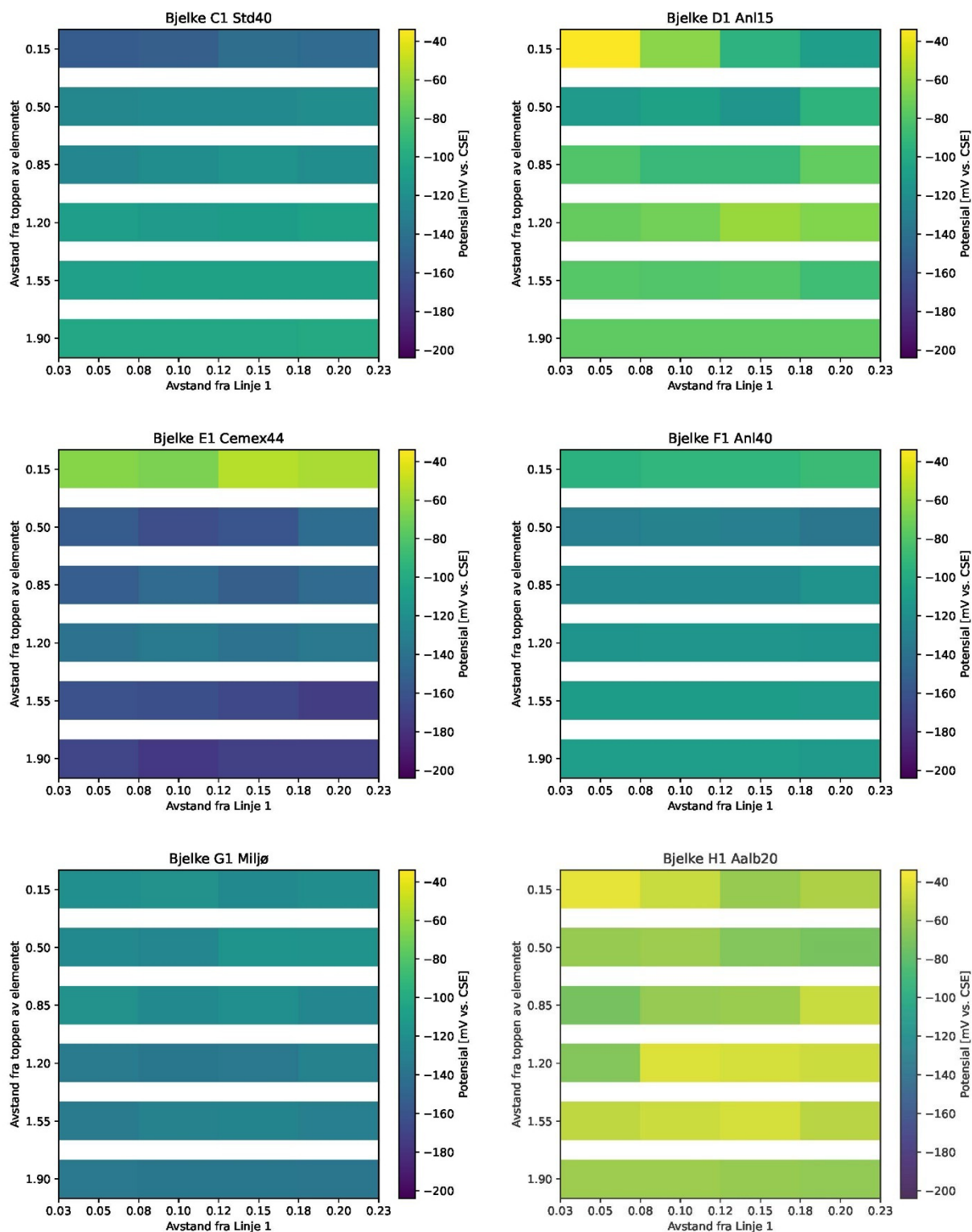


Figur 2 Utvikling i elektrokjemiske potensialer fra 2022 til 2025, begge målelinjer, for alle bjelker (A1-H1).

Tabell 2 Potensialer målt langs bøylearmering [mV vs. CSE]

		Bøyle nr. og avstand fra topp element					
		1	2	3	4	5	6
Bjelke	Avstand fra Linje 1 til Linje 2 [m]	0,15 m	0,5 m	0,85 m	1,20 m	1,55 m	1,90 m
A1 Std0	0,05	-92	-120	-91	-82	-67	-84
	0,10	-70	-112	-117	-94	-83	-77
	0,15	-62	-123	-120	-87	-81	-85
	0,20	-112	-154	-142	-88	-76	
B1 Std18	0,05	-204	-117	-111	-62	-80	-70
	0,10	-118	-136	-109	-57	-81	-78
	0,15	-175	-133	-98	-81	-82	-78
	0,20	-177	-107	-90	-76	-80	-80
C1 Std40	0,05	-155	-125	-126	-110	-108	-103
	0,10	-153	-124	-121	-112	-106	-103
	0,15	-143	-123	-118	-111	-107	-103
	0,20	-145	-122	-122	-106	-107	-101
D1 Anl15	0,05	-34	-112	-81	-74	-79	-76
	0,10	-64	-106	-90	-71	-80	-76
	0,15	-95	-115	-90	-60	-79	-76
	0,20	-110	-94	-75	-66	-87	-76
E1 Cemex44	0,05	-65	-156	-154	-139	-162	-169
	0,10	-68	-164	-146	-135	-163	-176
	0,15	-53	-159	-153	-139	-167	-171
	0,20	-56	-144	-145	-136	-173	-172
F1 Anl40	0,05	-96	-132	-123	-116	-111	-110
	0,10	-93	-129	-124	-115	-111	-110
	0,15	-93	-131	-124	-115	-111	-110
	0,20	-89	-138	-117	-116	-112	-112
G1 Miljø	0,05	-120	-124	-119	-134	-134	-136
	0,10	-119	-126	-123	-137	-130	-137
	0,15	-124	-116	-120	-136	-127	-137
	0,20	-121	-117	-126	-130	-131	-138
H1 Aalb20	0,05	-40	-62	-73	-68	-51	-60
	0,10	-48	-60	-63	-42	-47	-60
	0,15	-62	-68	-61	-45	-45	-62
	0,20	-56	-72	-48	-47	-52	-64

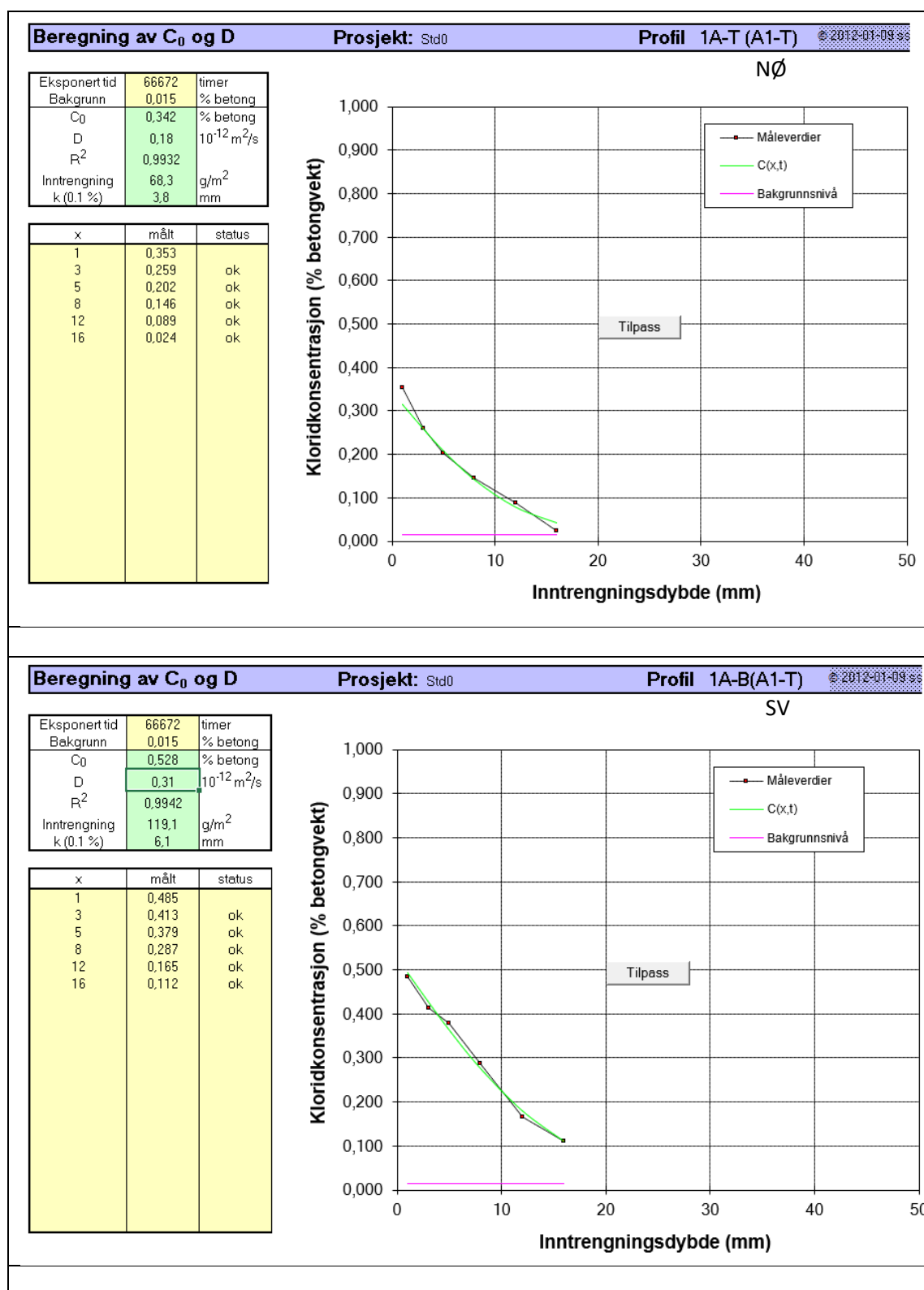


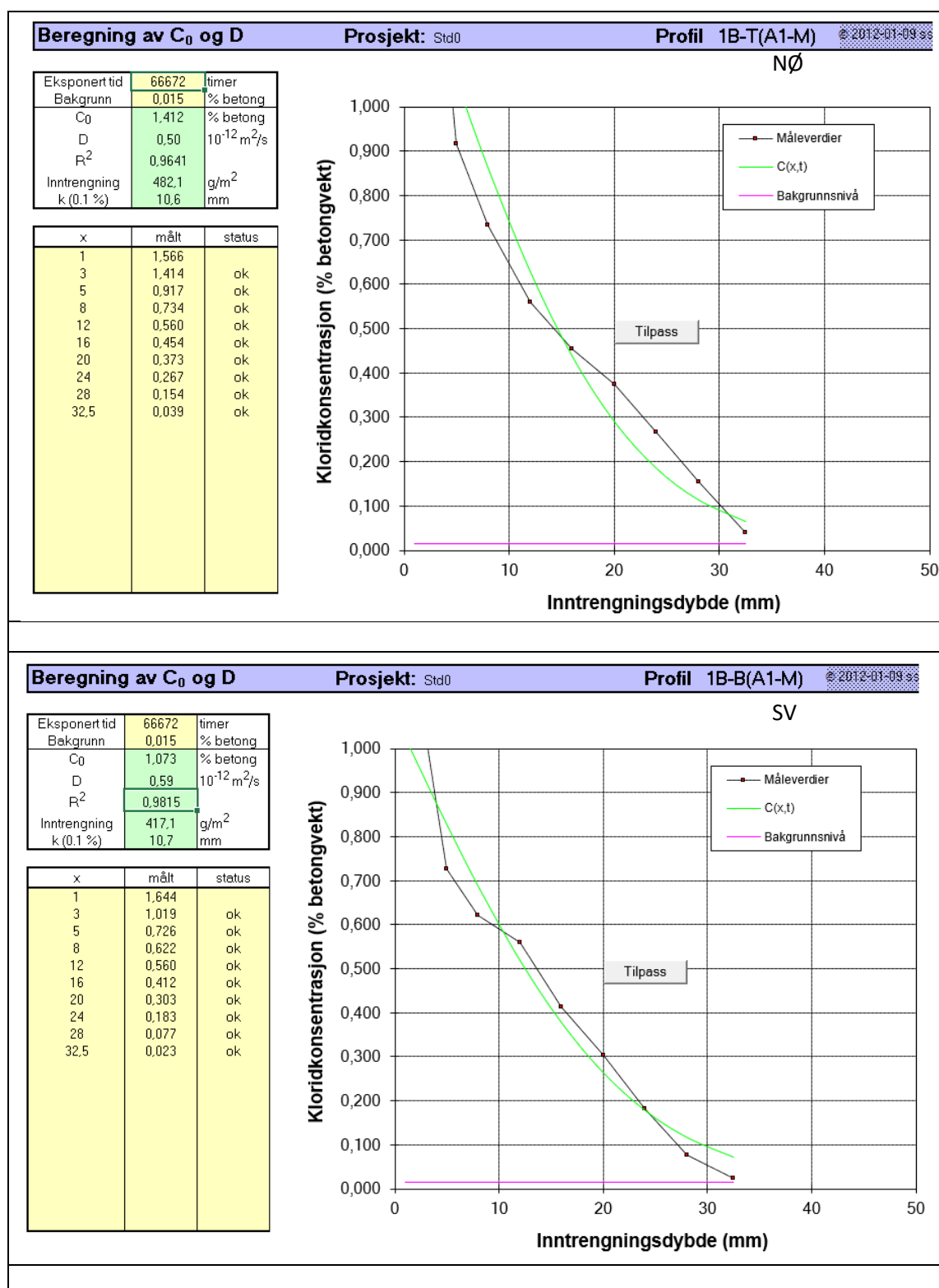


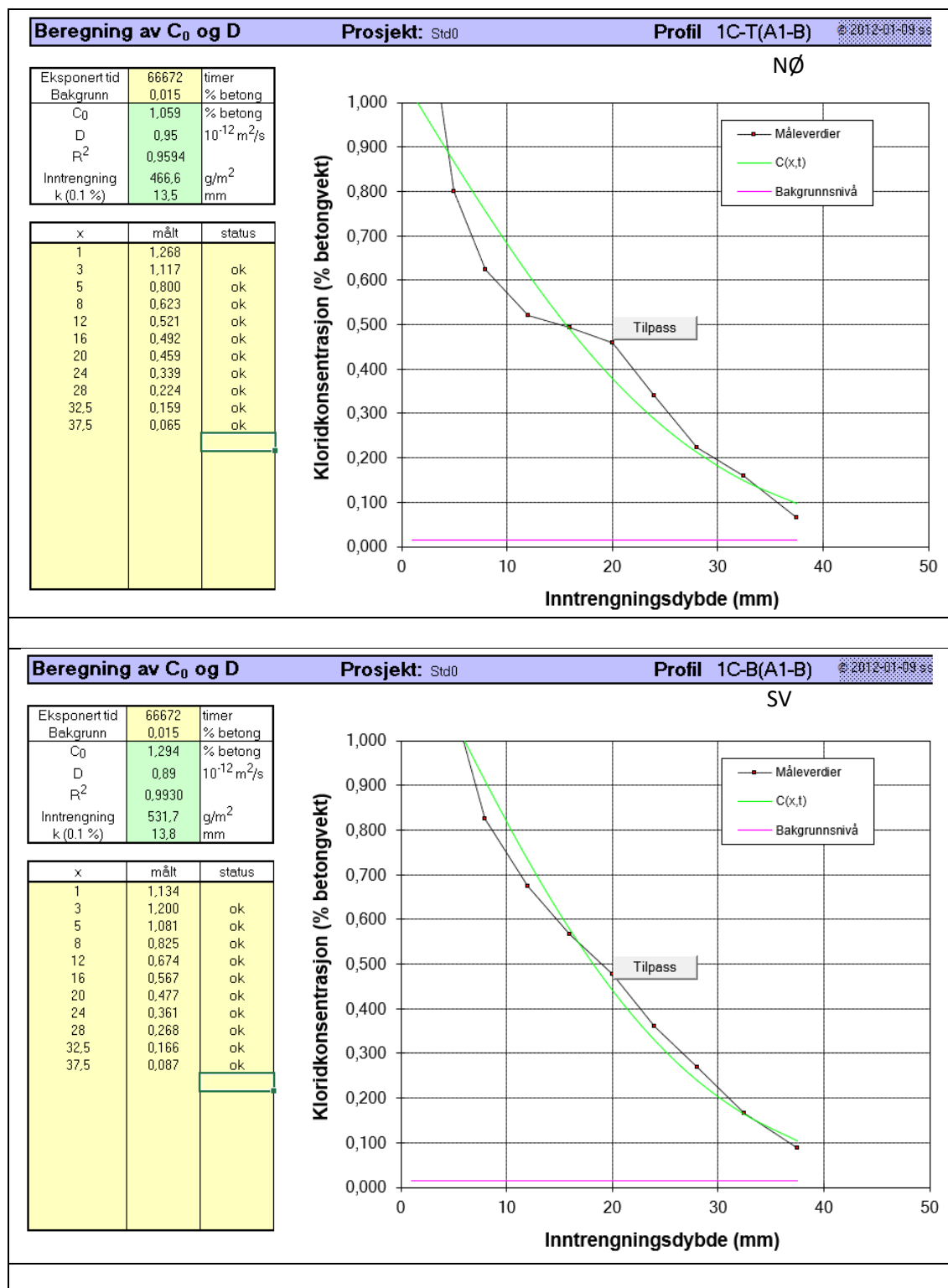
Figur 3 Elektrokjemiske potensialer for bøylearmering 2025, for alle bjelker (A1-H1).

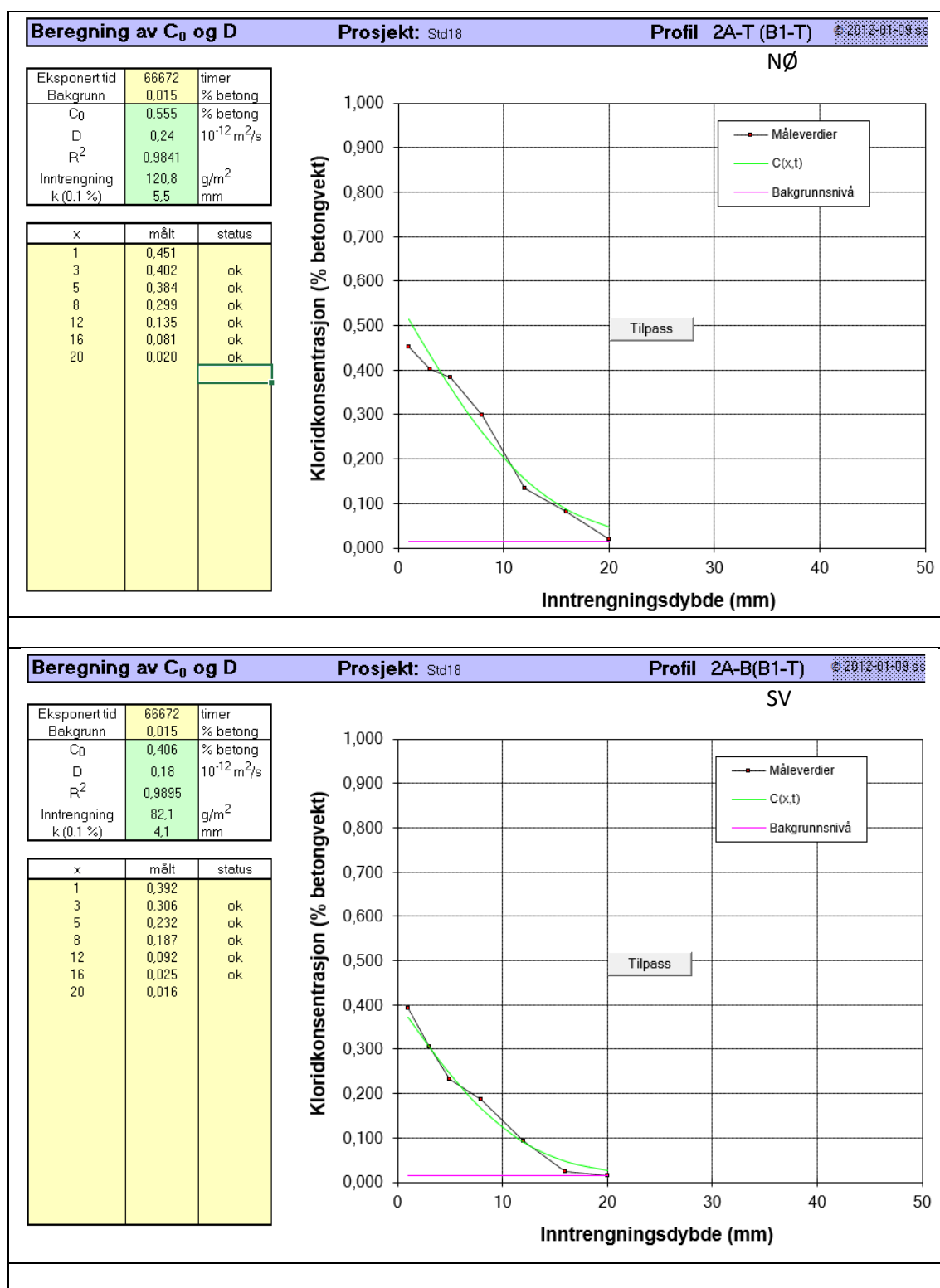
VEDLEGG 3

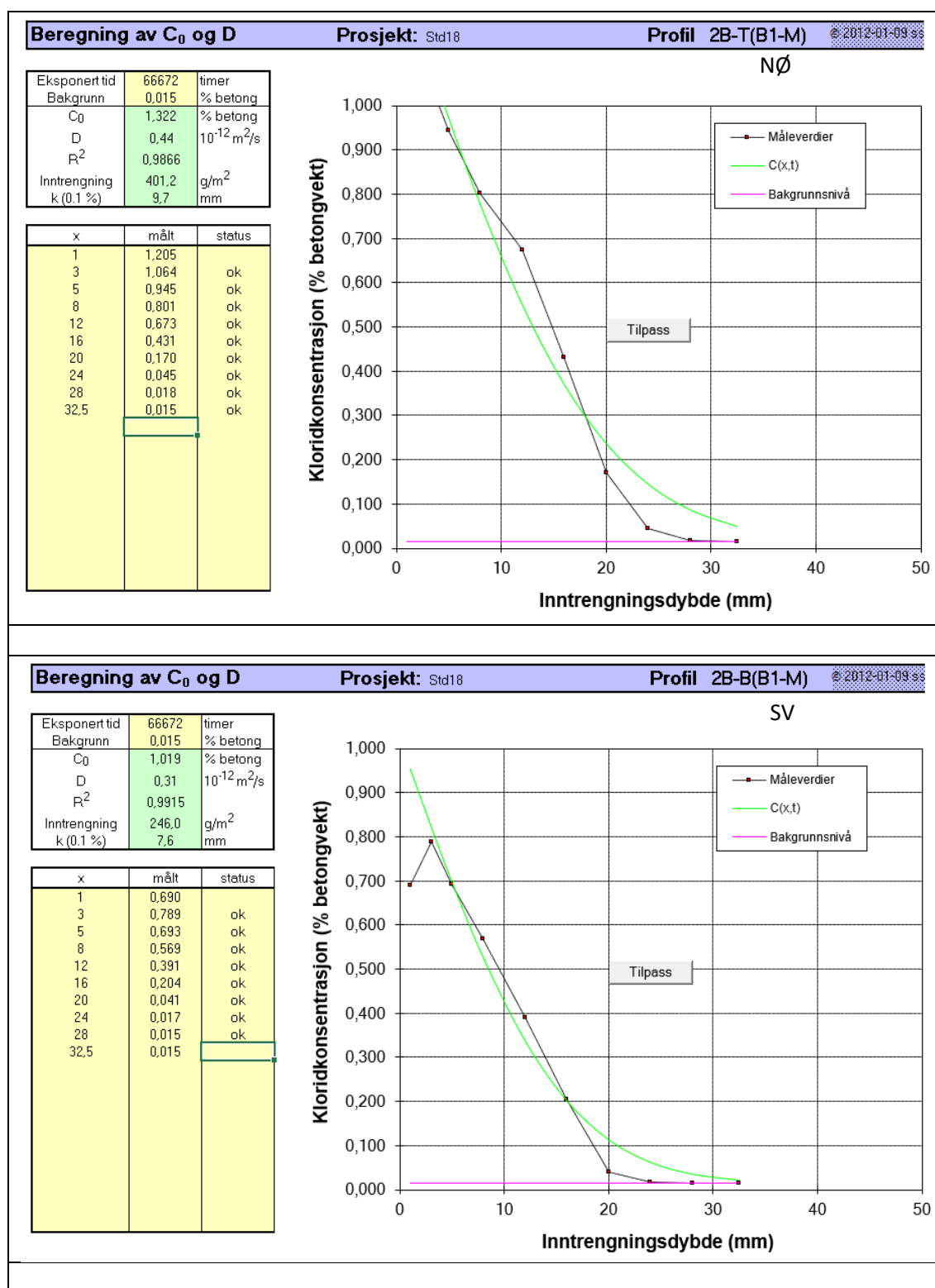
Kloridprofiler og kloriddiffusjonskoeffisienter

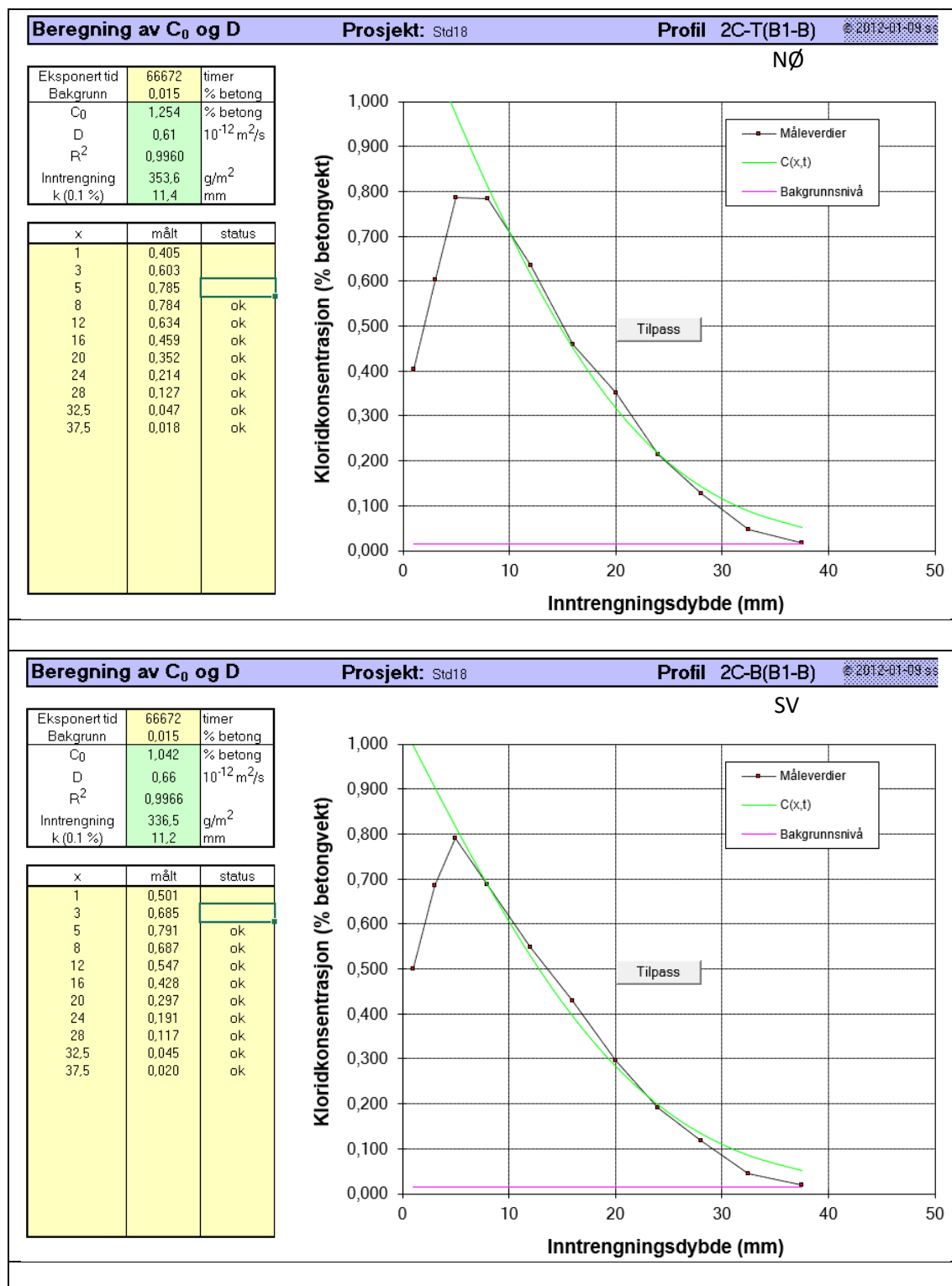


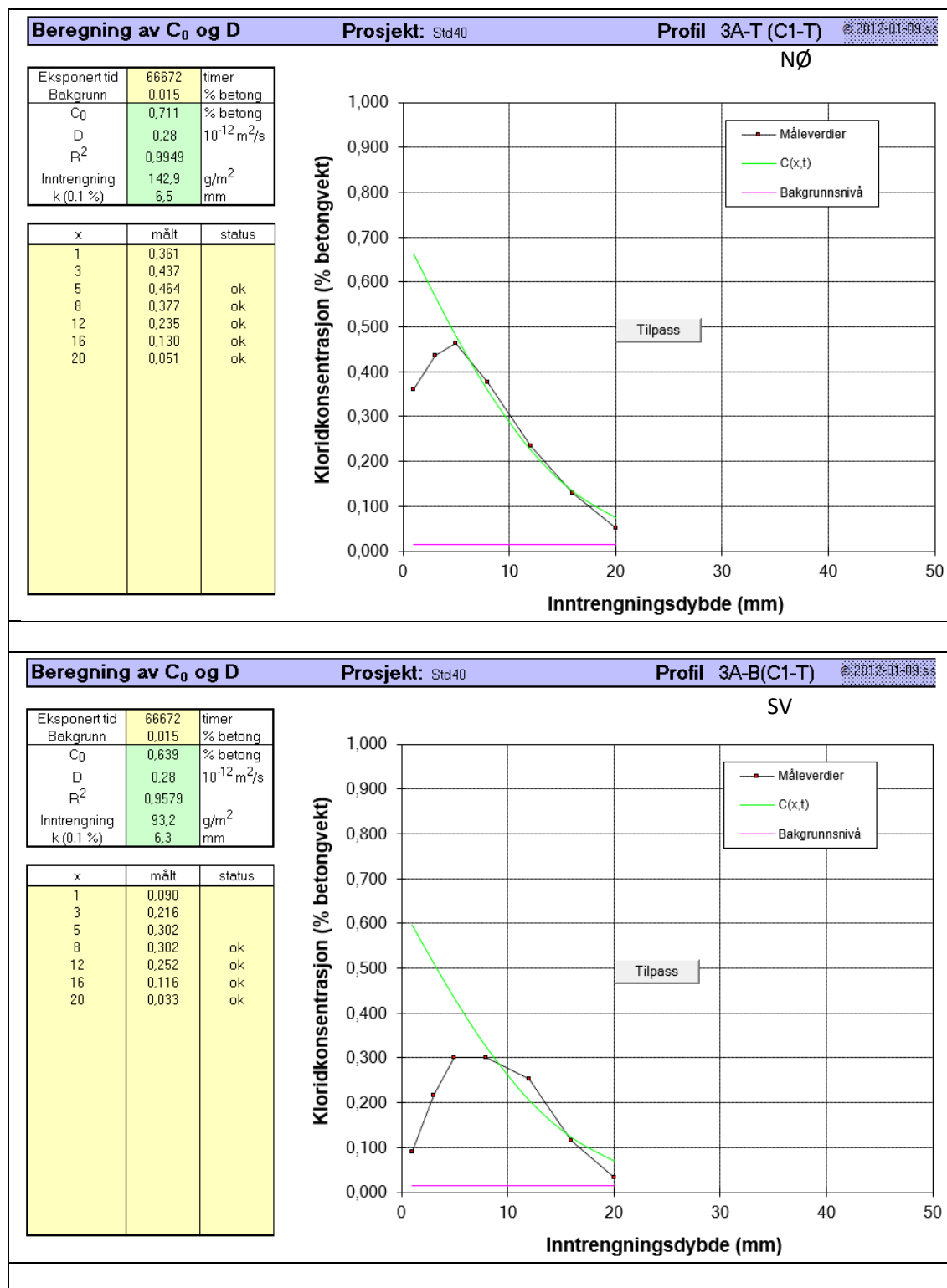


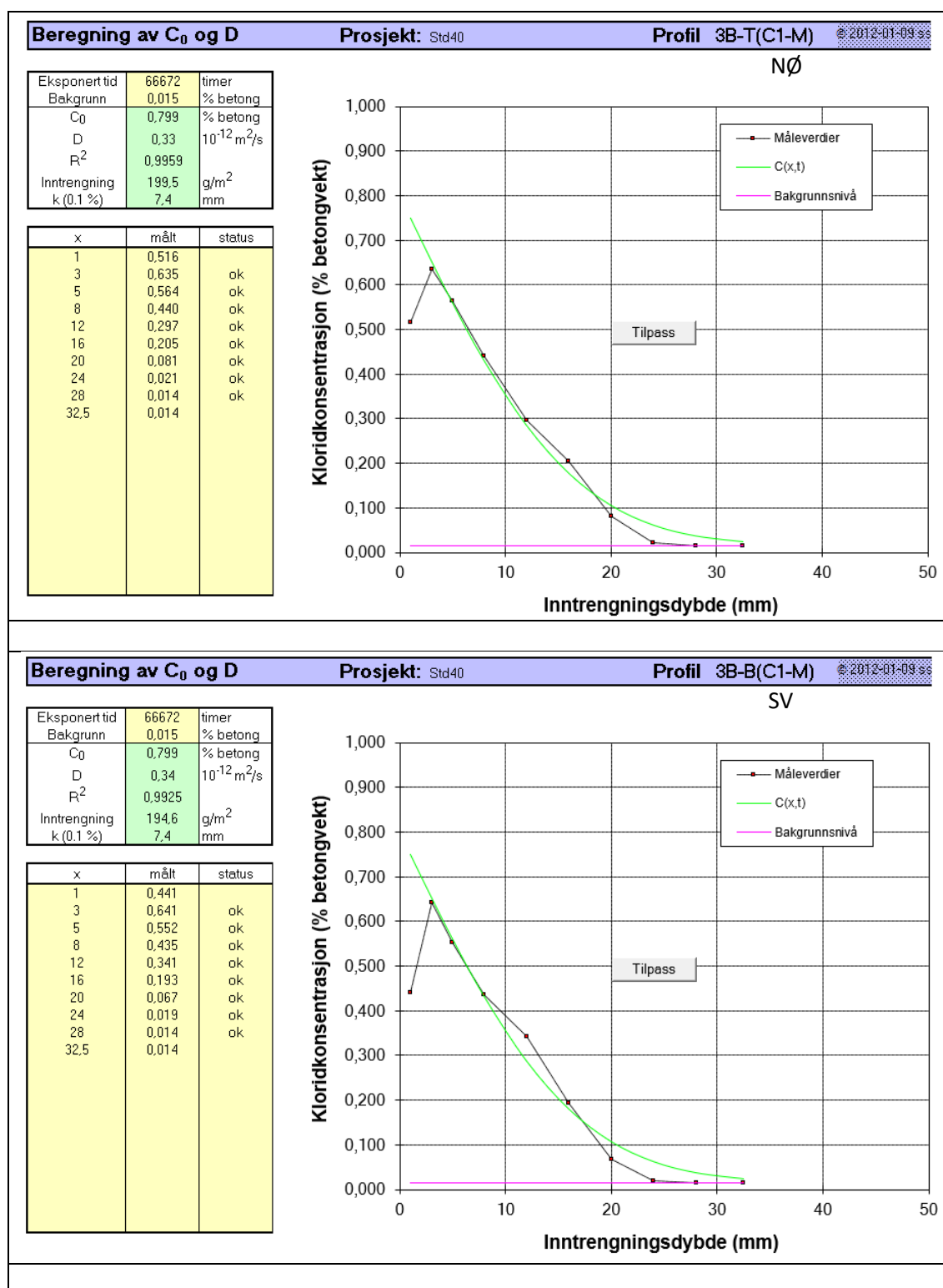


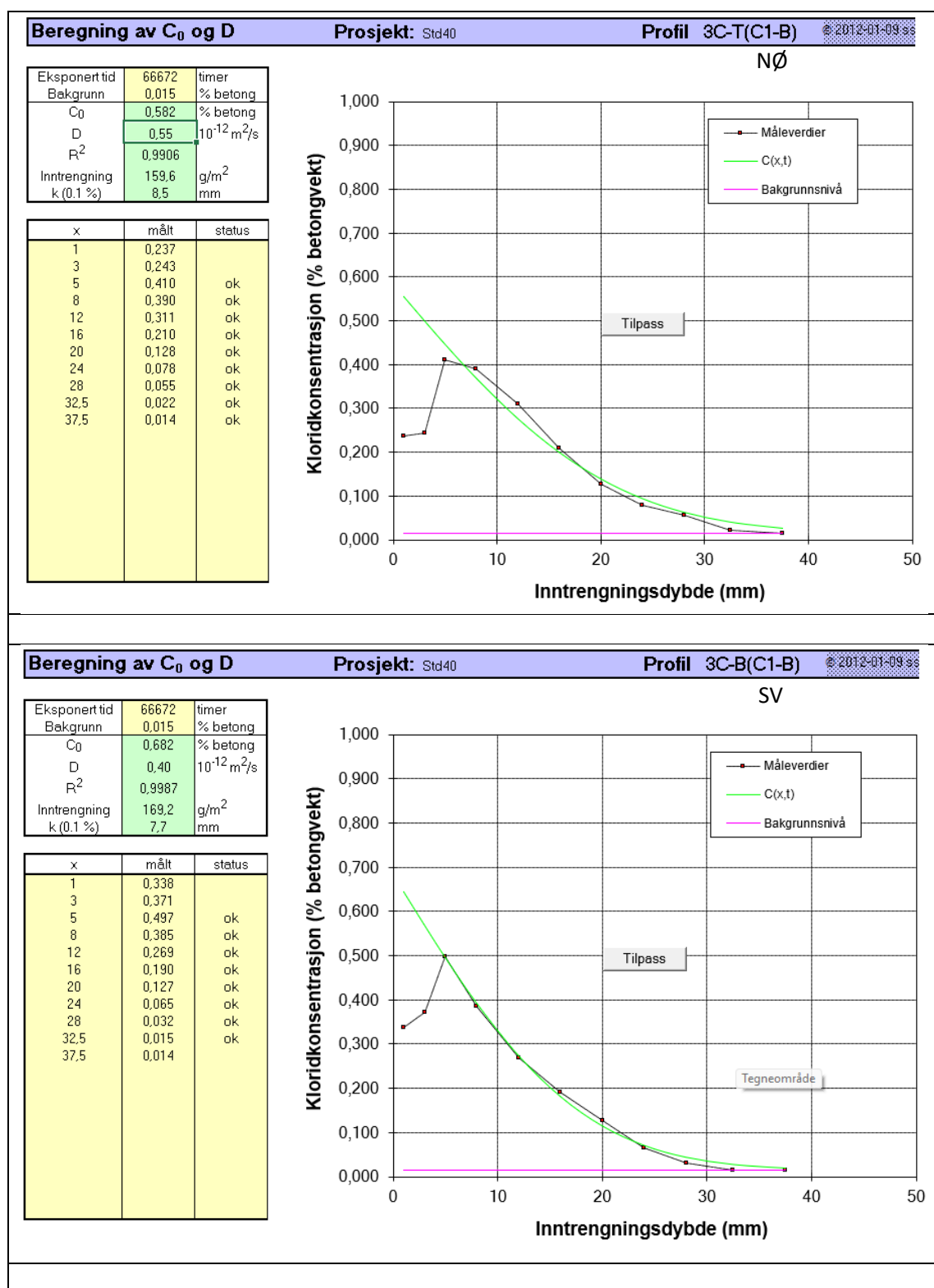












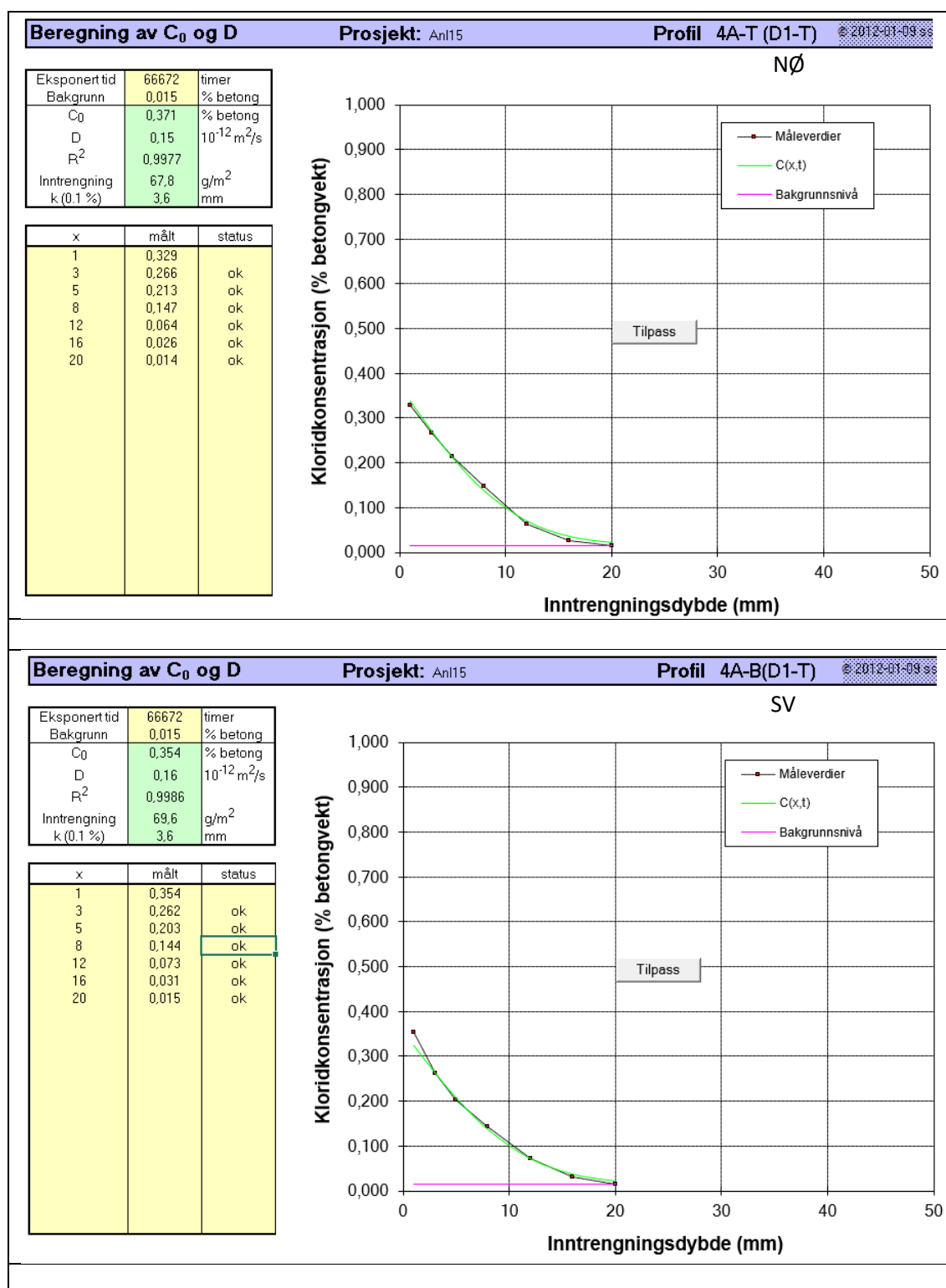
Beregning av C_0 og D

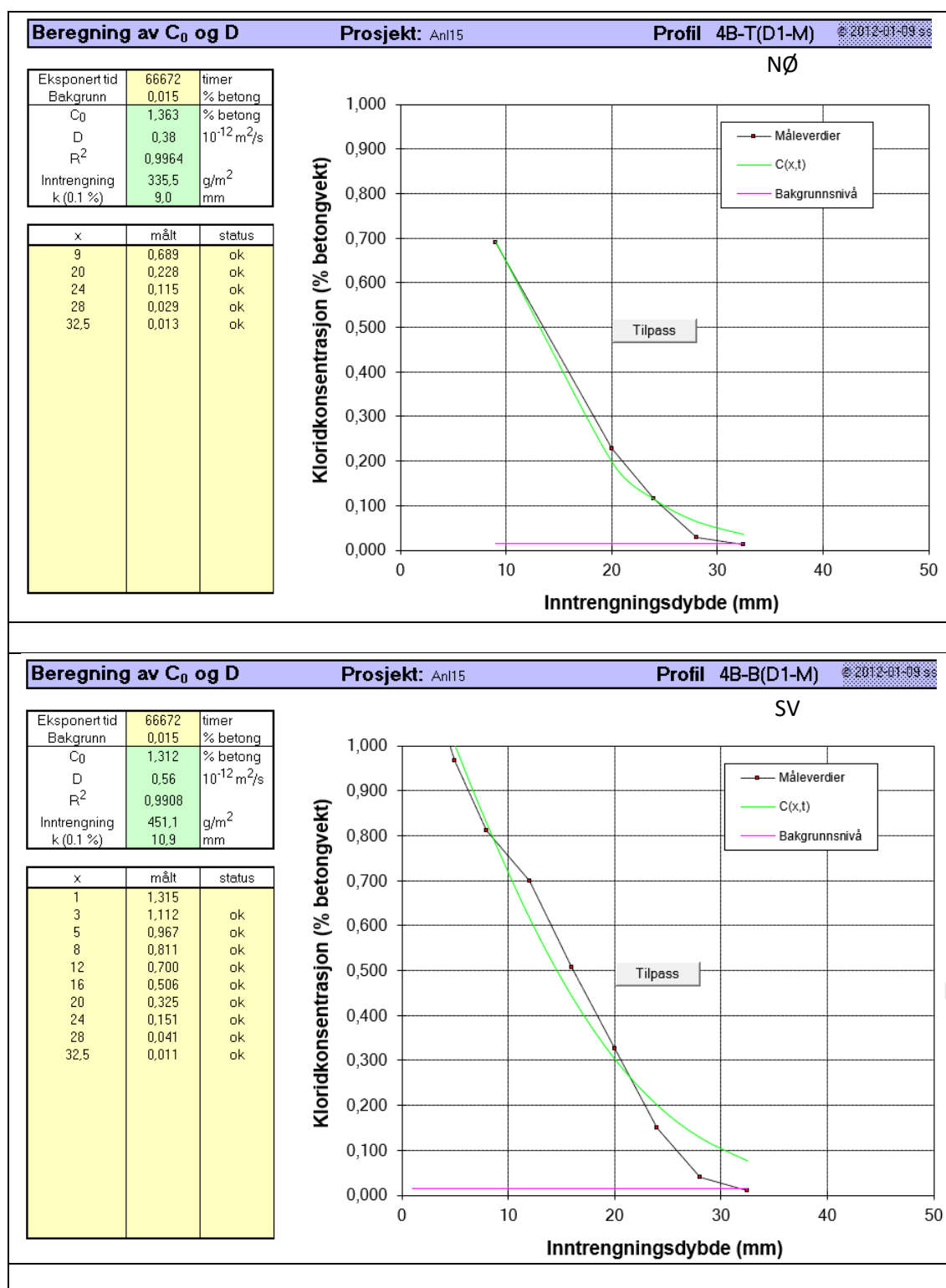
Prosjekt: Std40

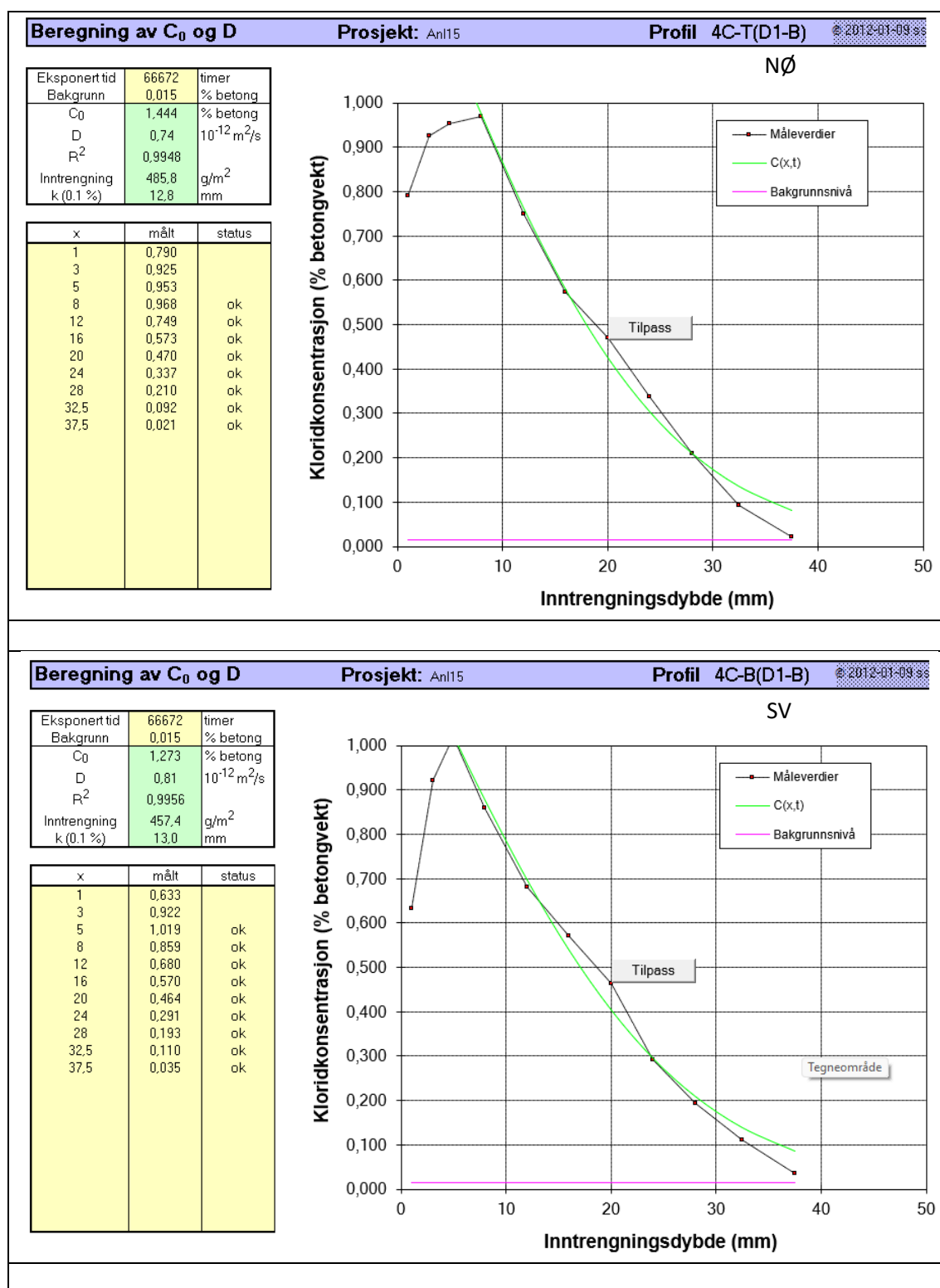
Profil 3C-B(C1-B)

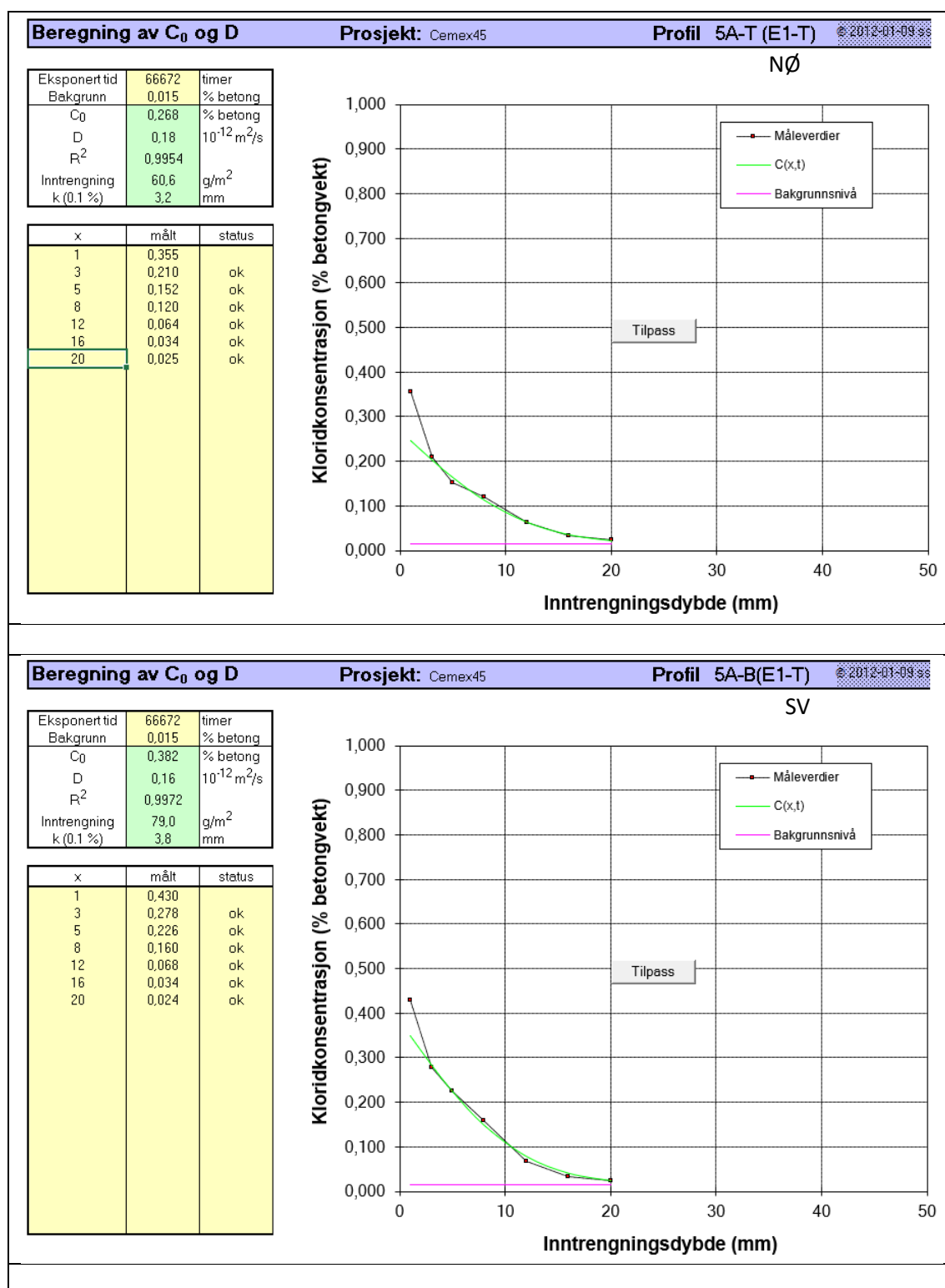
2013-01-09 ss

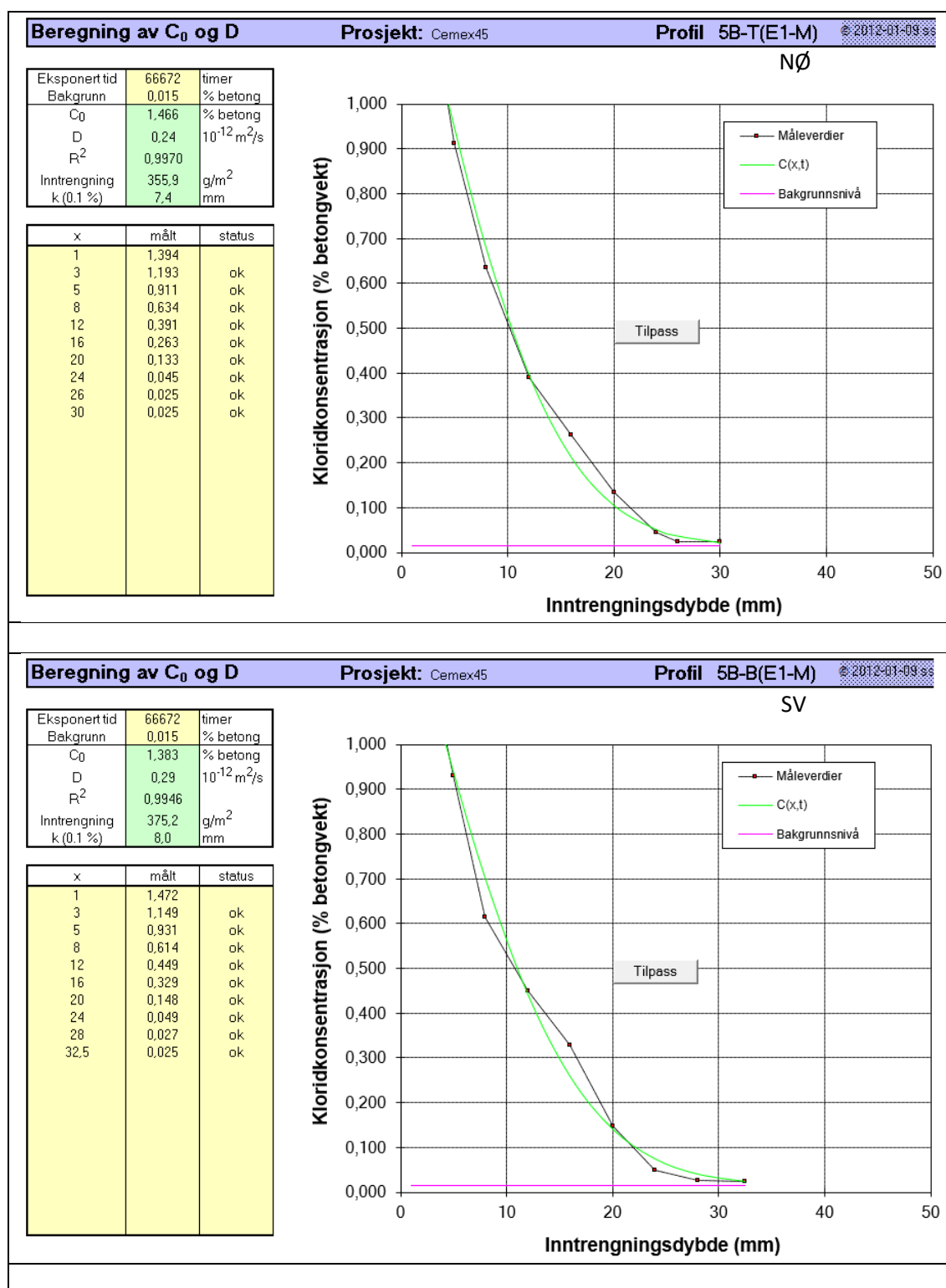
Ekspontertid	66672	timer
Bakgrunn	0.015	% betong
C_0	0.682	% betong
D	0.40	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9987	
Inntrengning	169.2	g/m^2
k (0.1 %)	7.7	mm

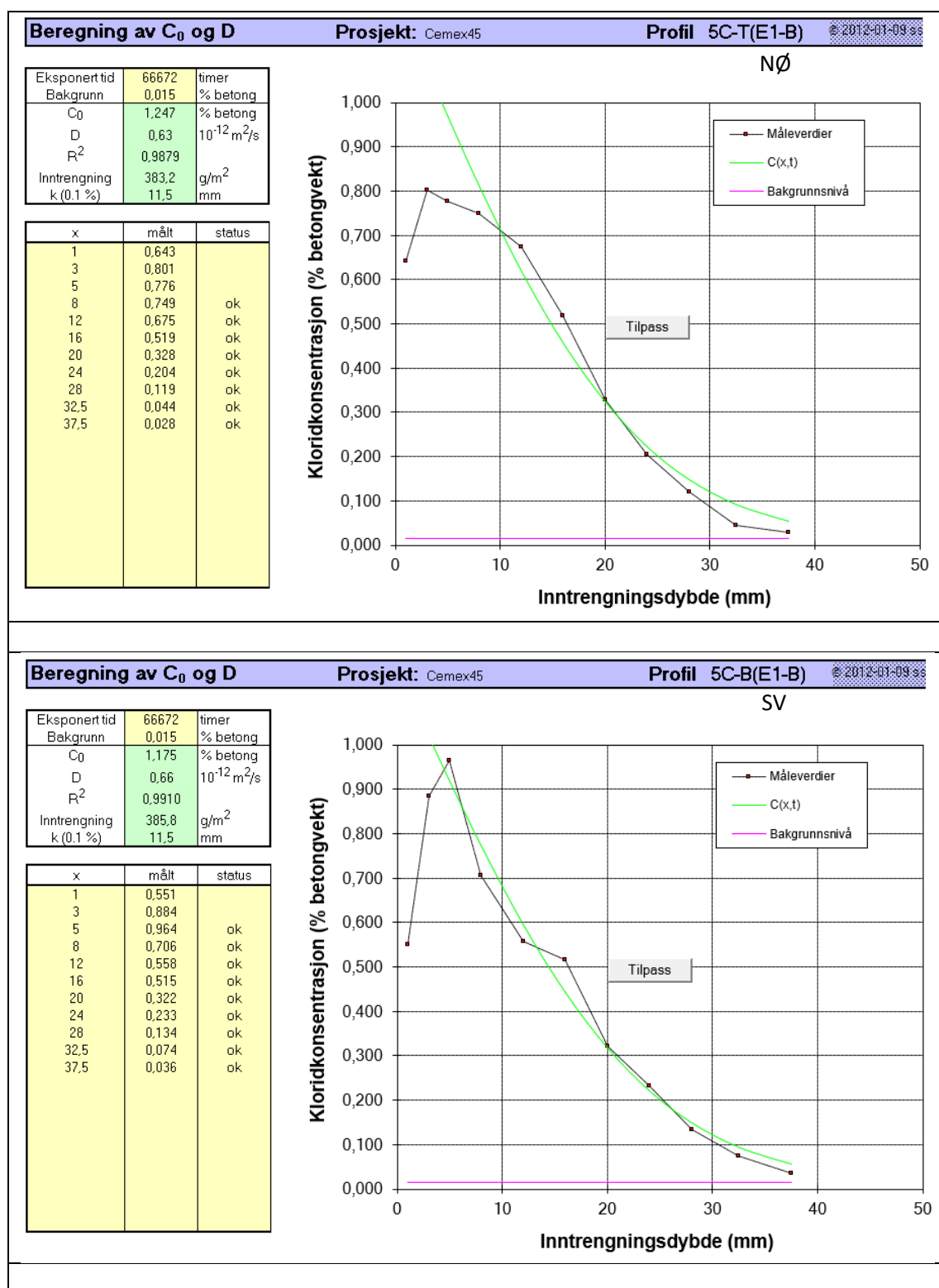


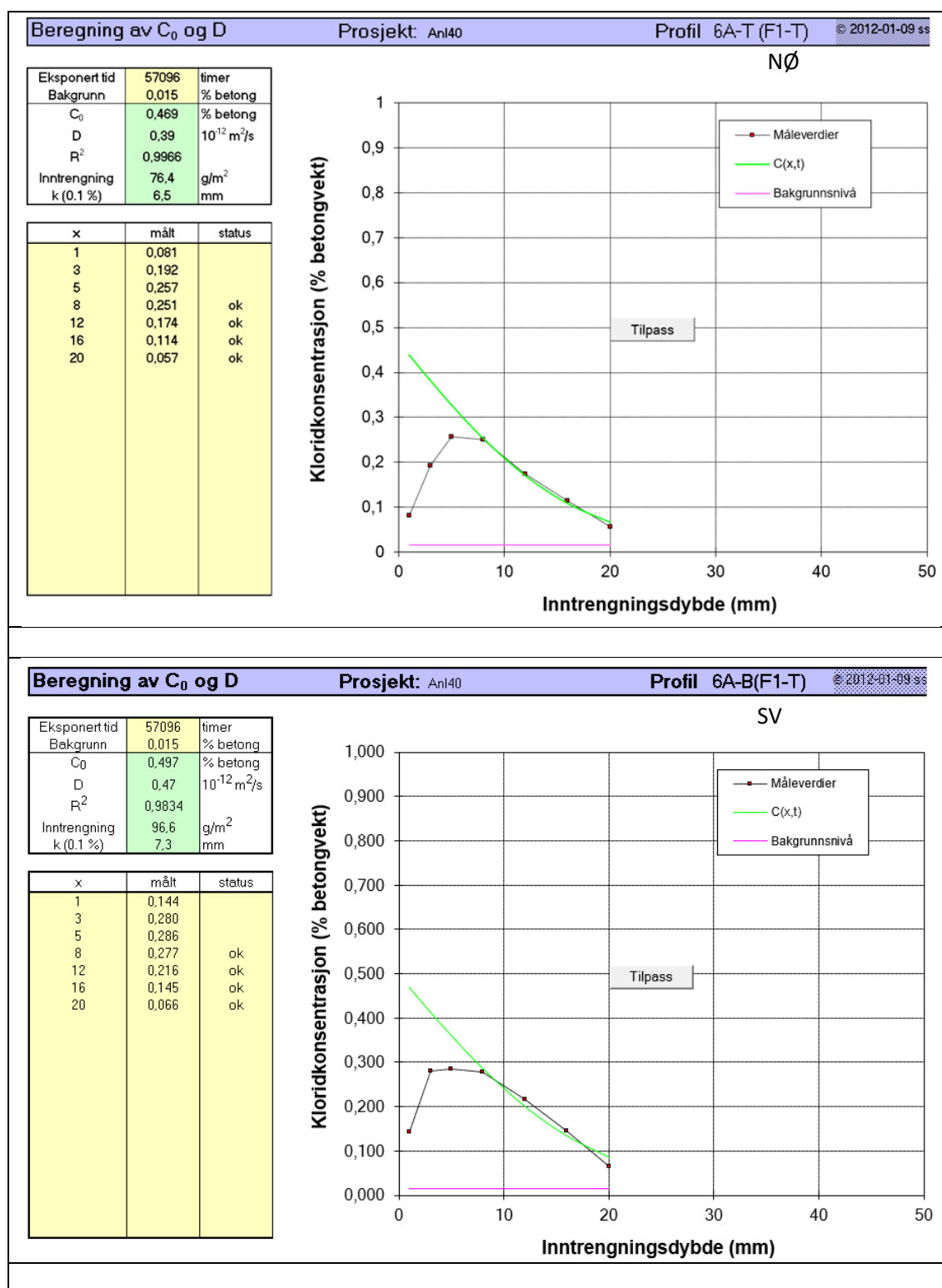


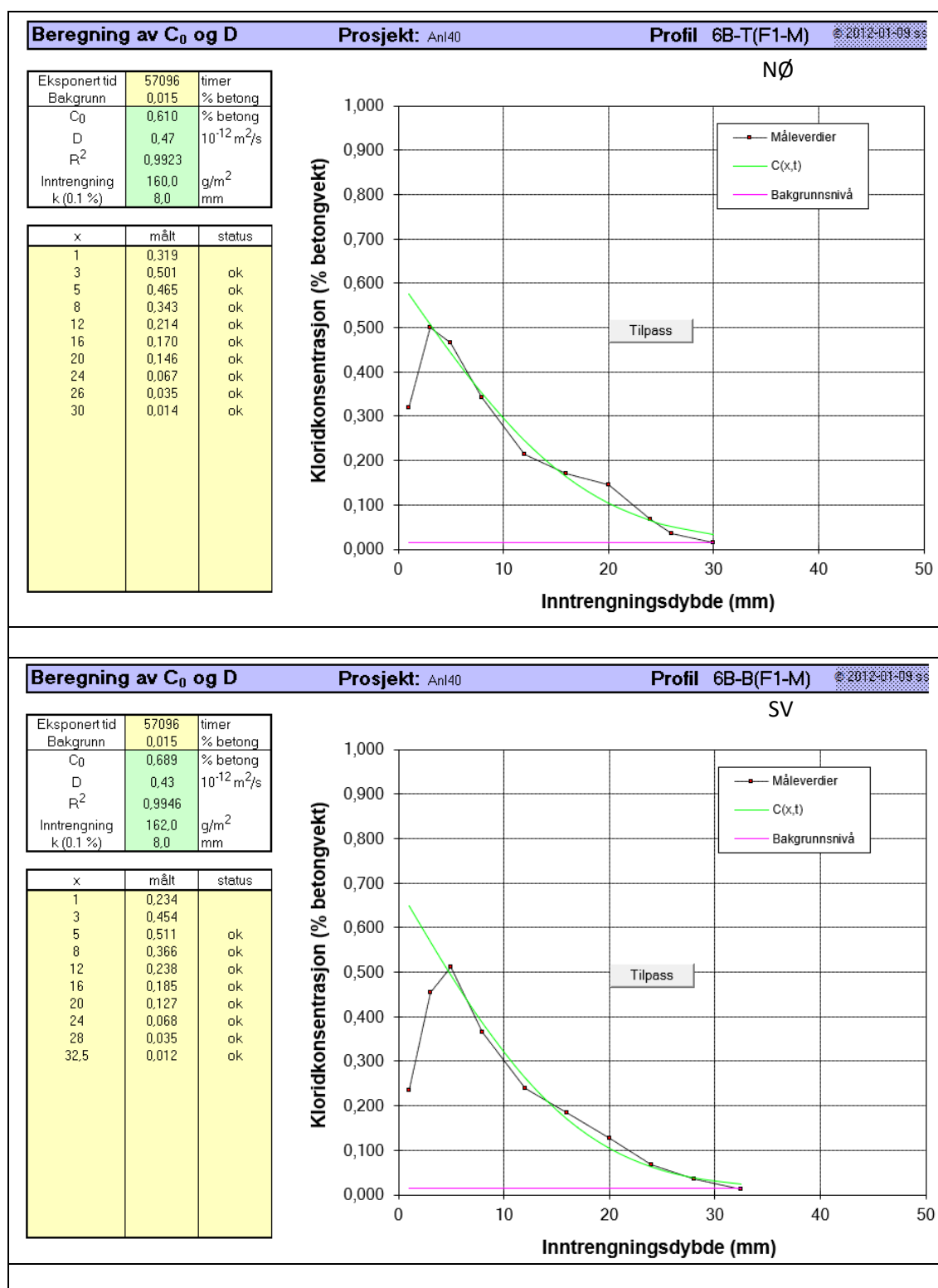


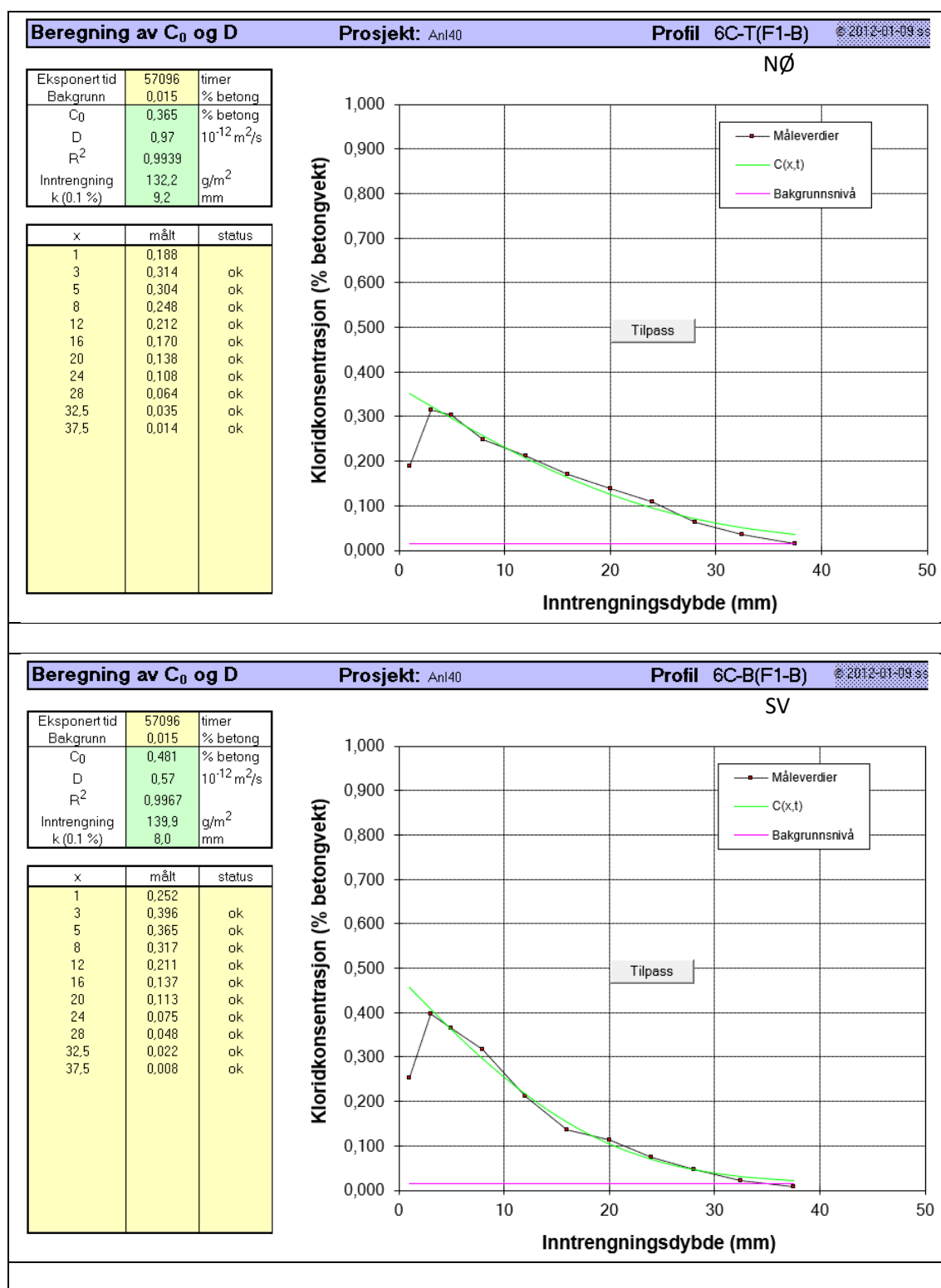


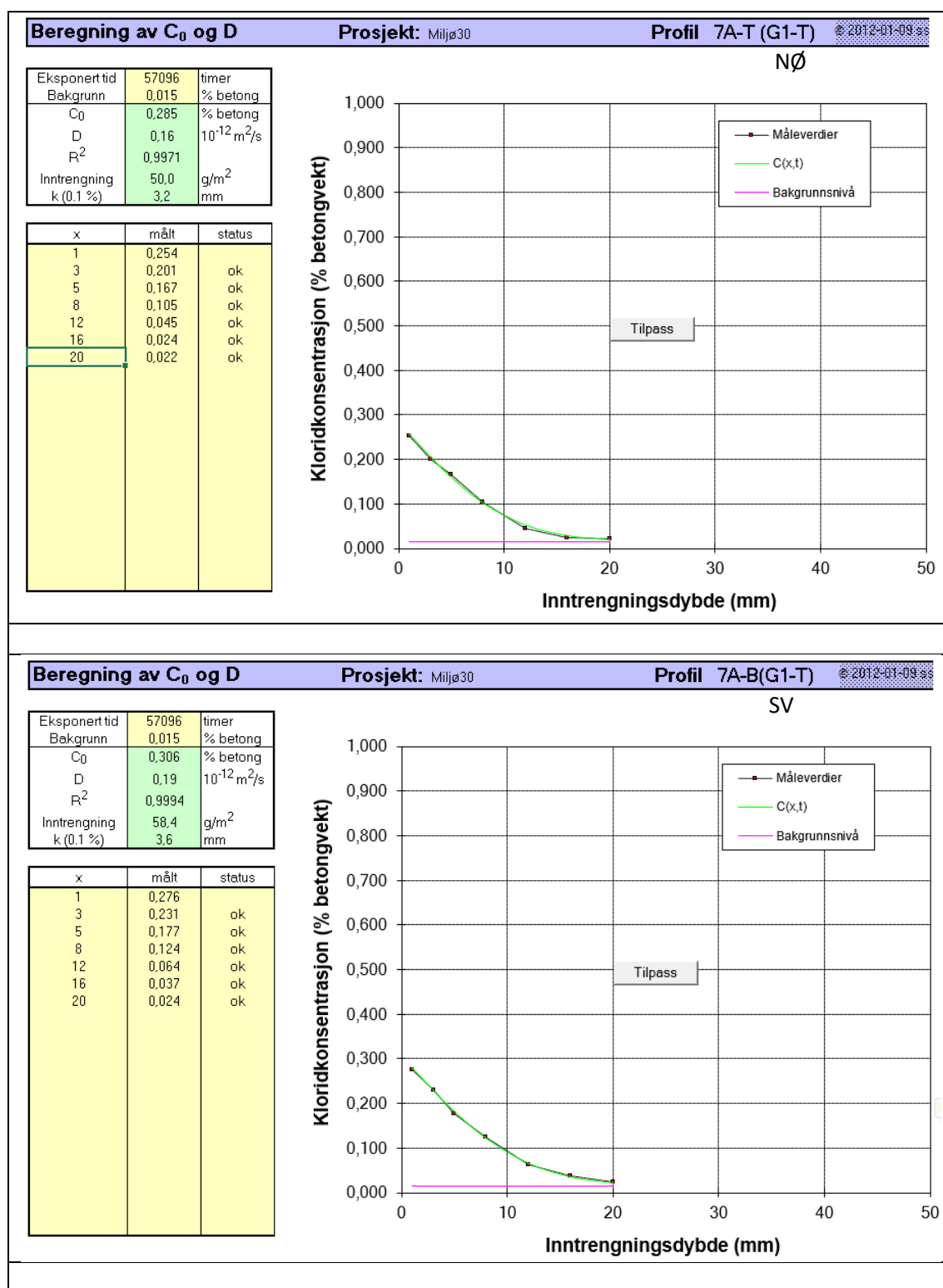








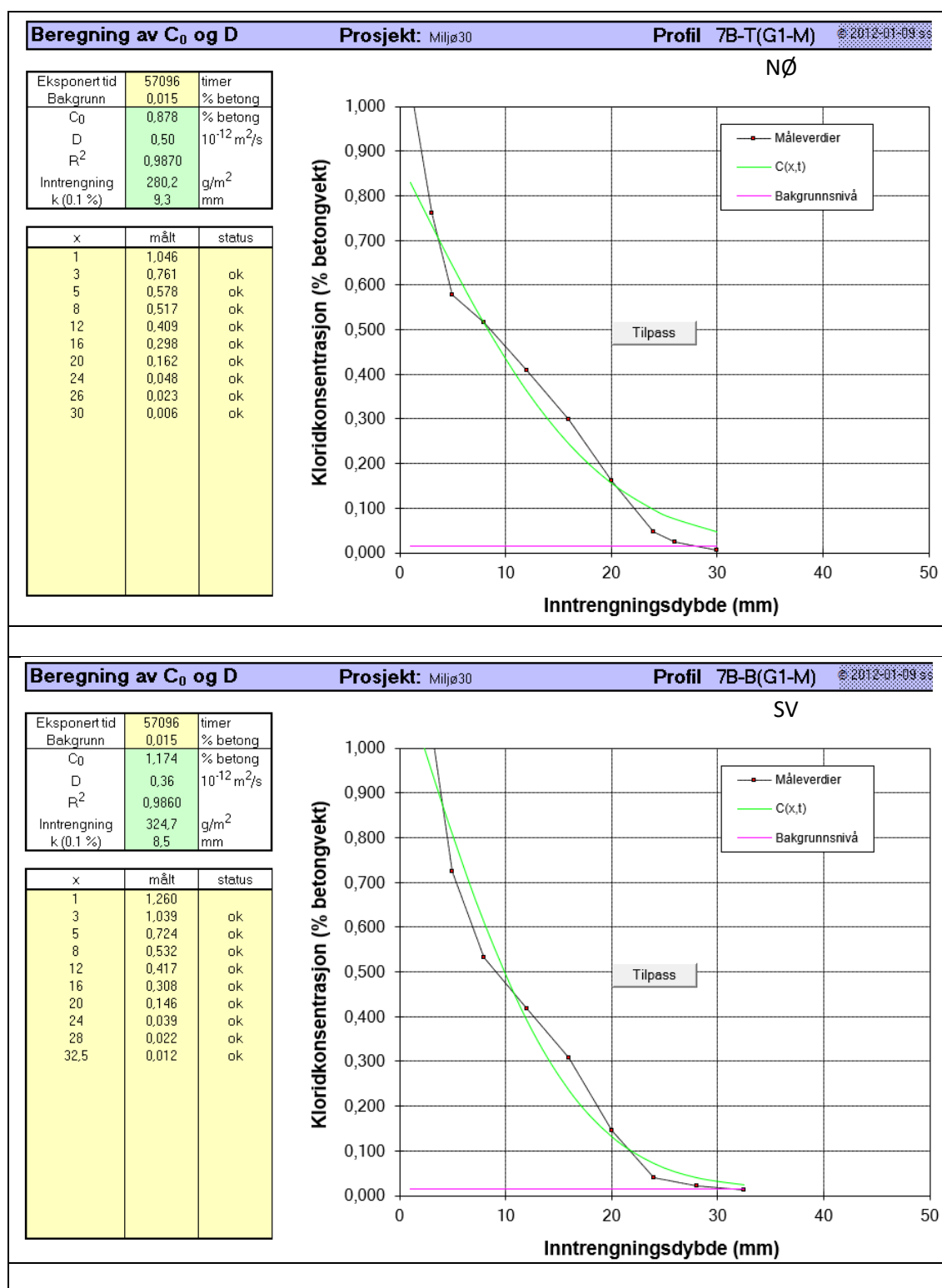


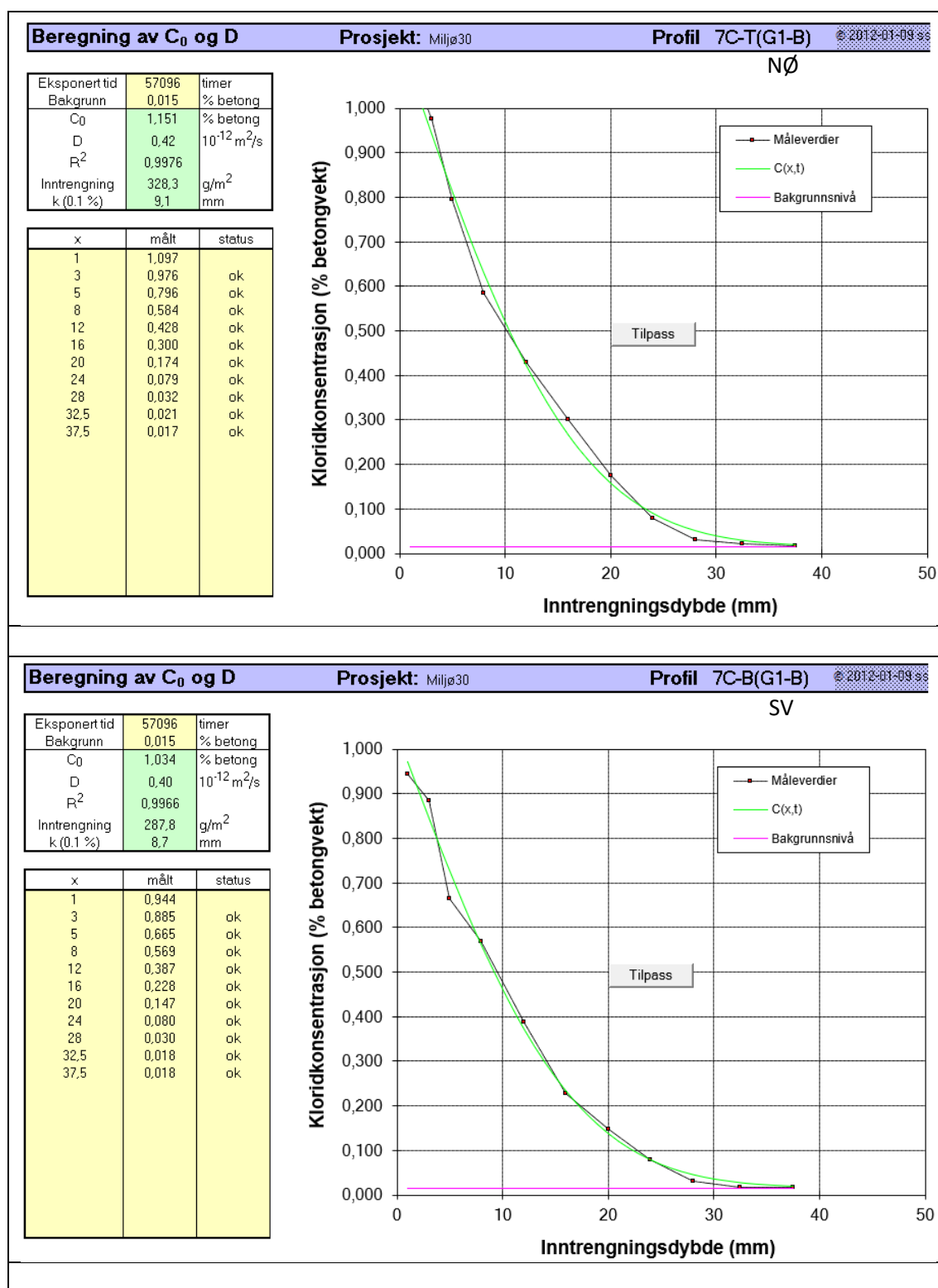

Beregning av C_0 og D
Prosjekt: Miljø30
Profil 7A-B(G1-T) 2013-01-09 ss

Ekspontertid	57096	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,306	% betong
D	0,19	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9994	
Inntrengning	58,4	g/m^2
k (0,1 %)	3,6	mm

x	målt	status
1	0,276	
3	0,231	ok
5	0,177	ok
8	0,124	ok
12	0,064	ok
16	0,037	ok
20	0,024	ok

Inntrengningsdybde (mm)





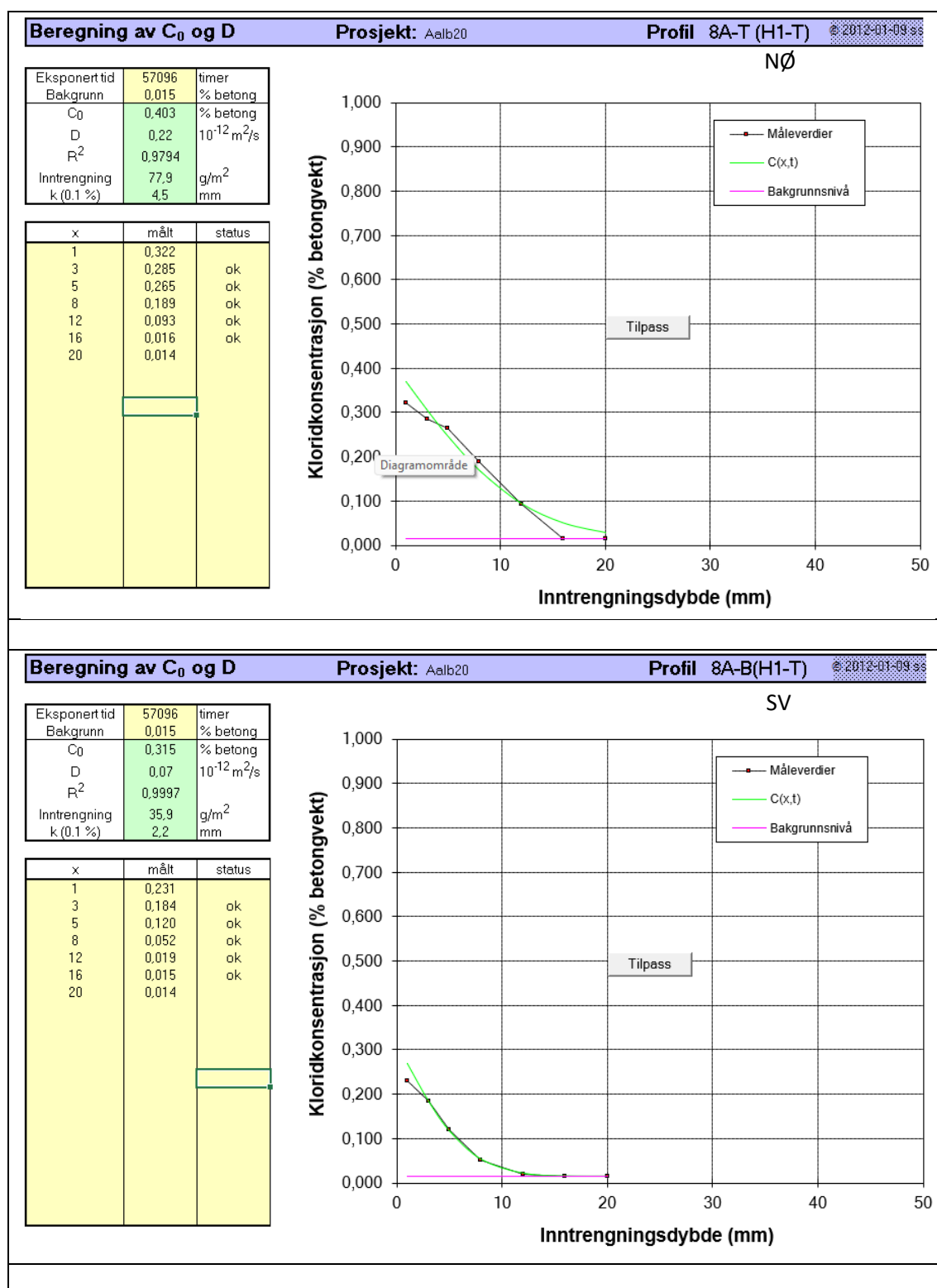
Beregning av C_0 og D

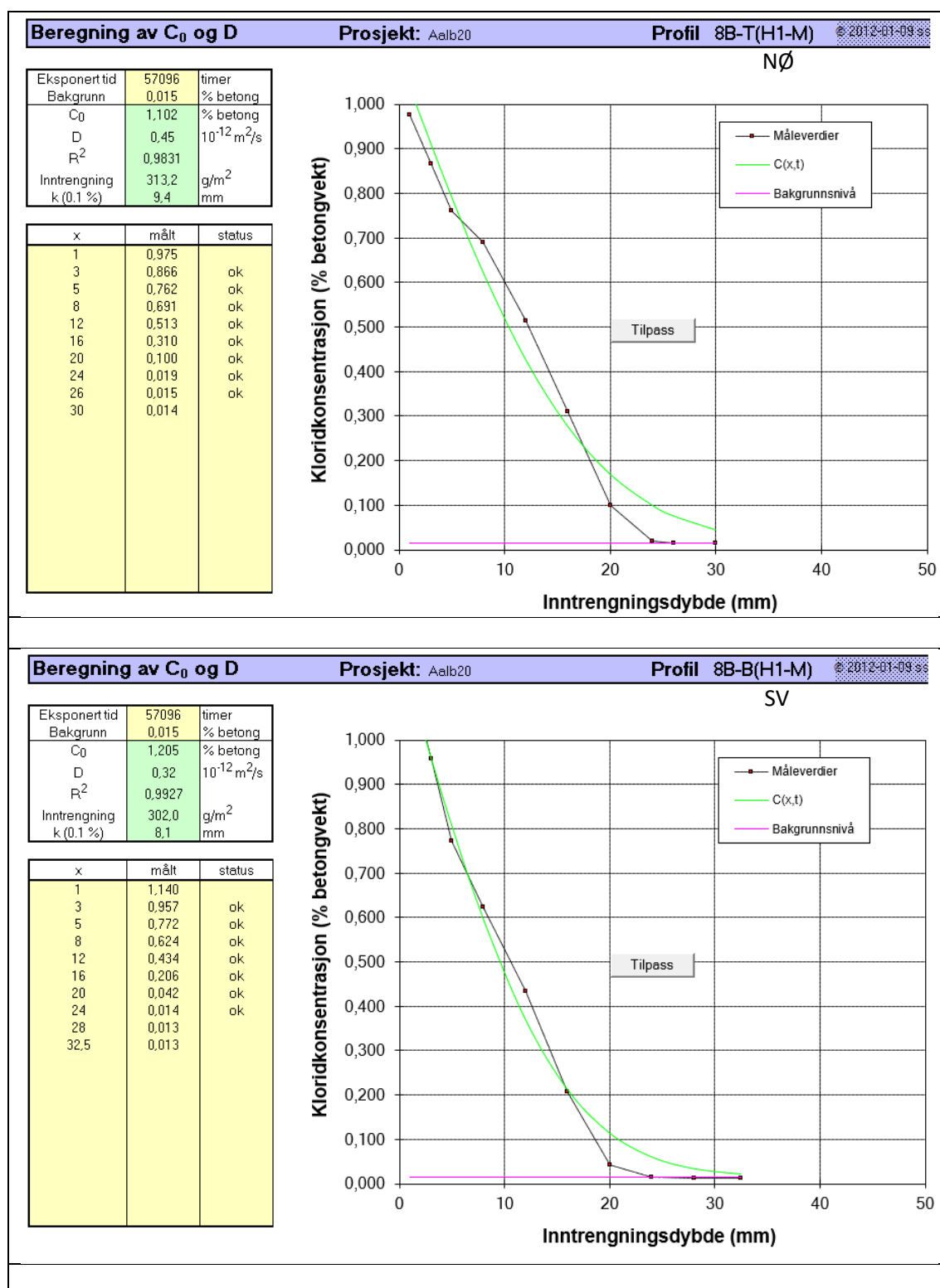
Prosjekt: Miljø30

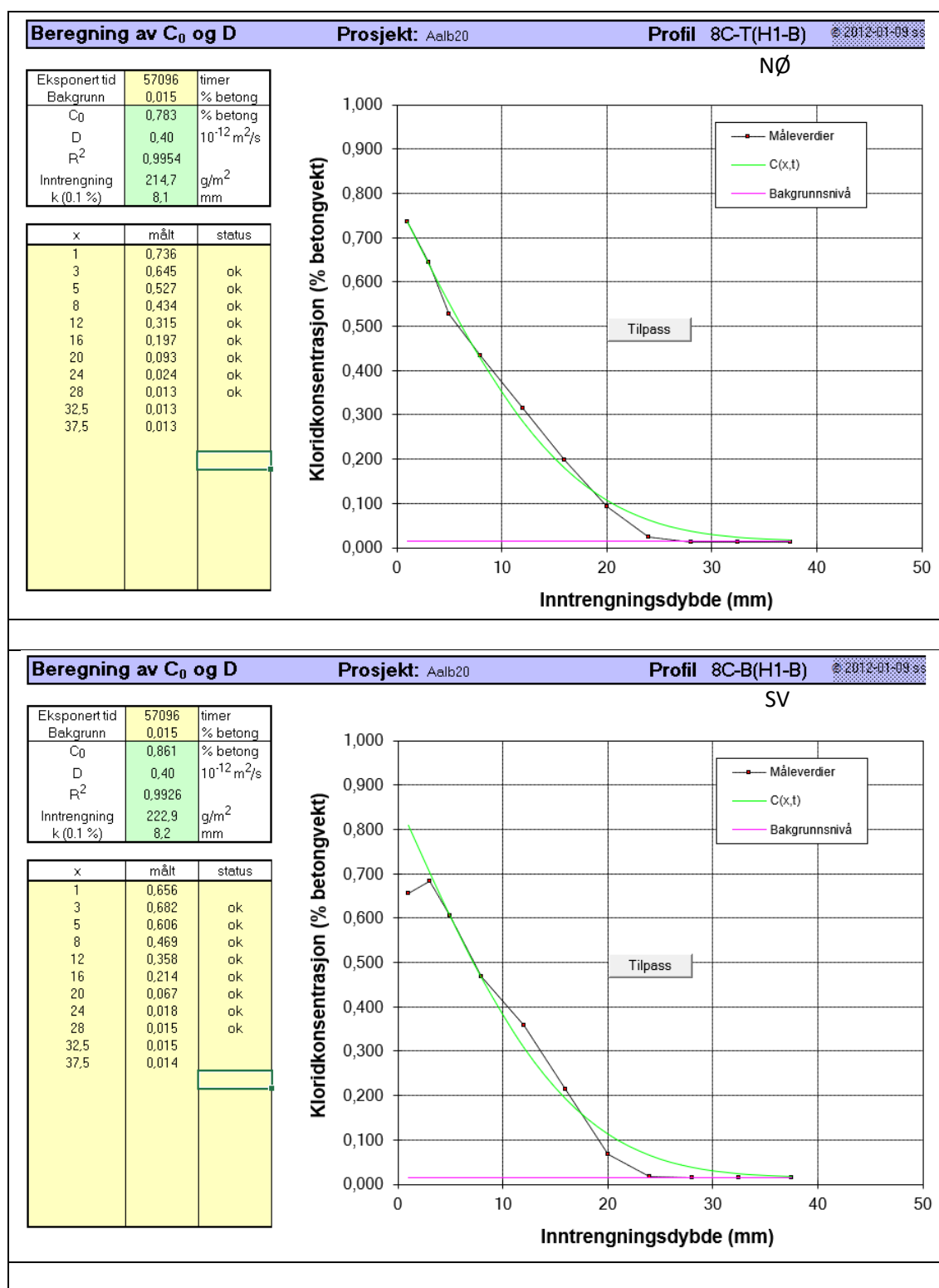
Profil 7C-B(G1-B)

© 2012-01-09 93

Ekspontertid	57096	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,034	% betong
D	0,40	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9966	
Inntrengning	287,8	g/m^2
k (0.1 %)	8,7	mm







VEDLEGG 4

Foto av bjelkene før tilbakesetting

Foto tatt av Statens vegvesen DoV før tilbakesetting av bjelkene i sjø

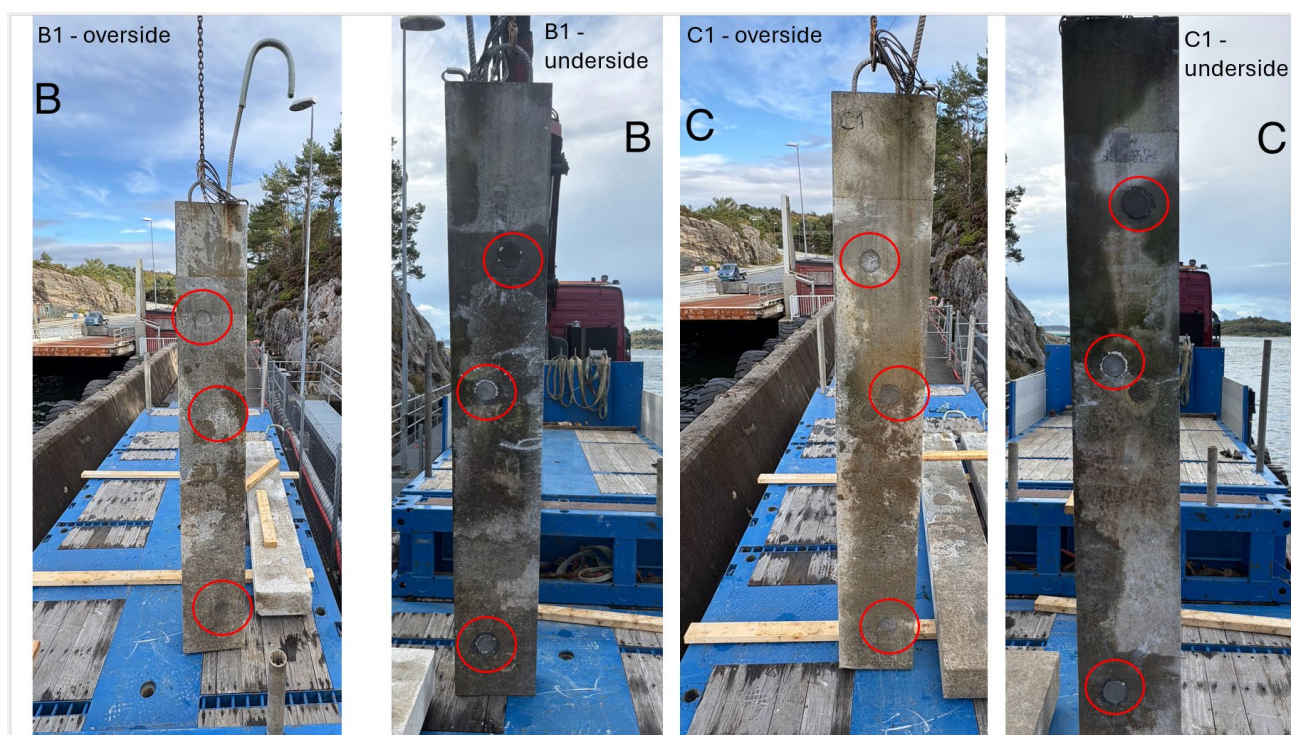
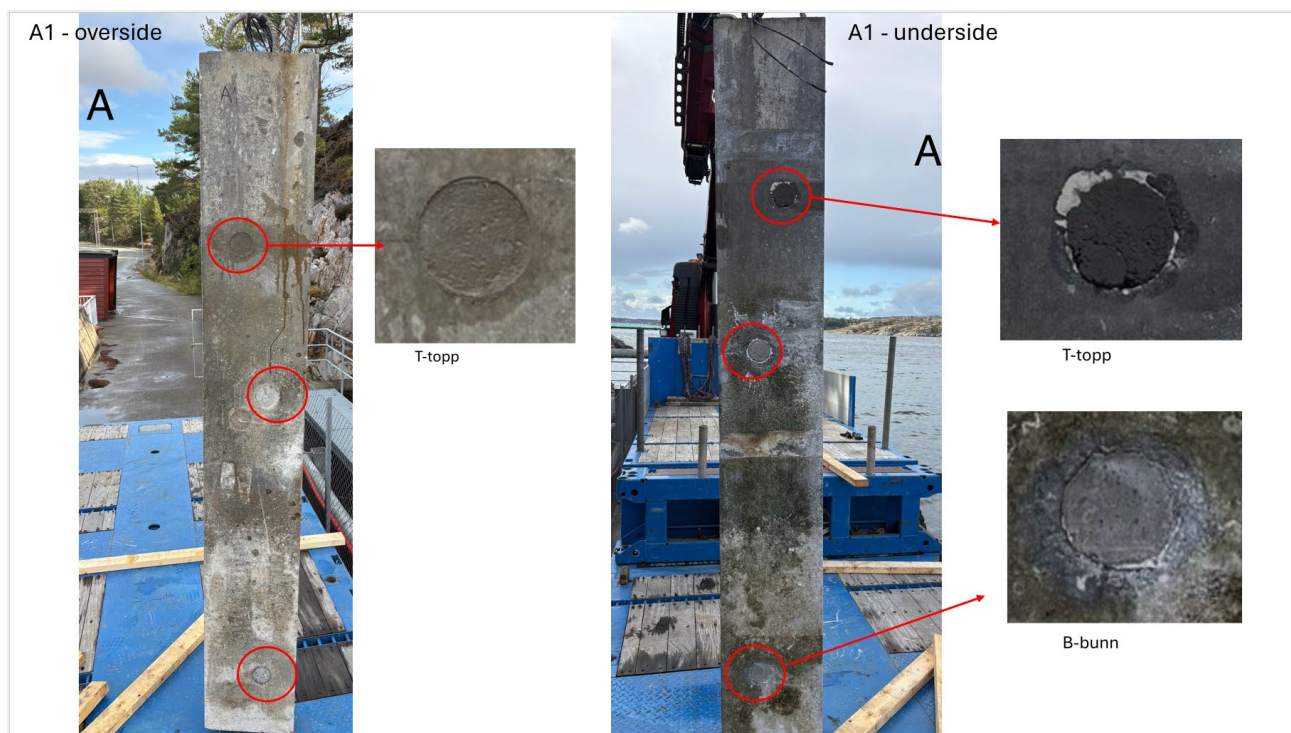


Foto tatt av Statens vegvesen DoV før tilbakesetting av bjelkene i sjø

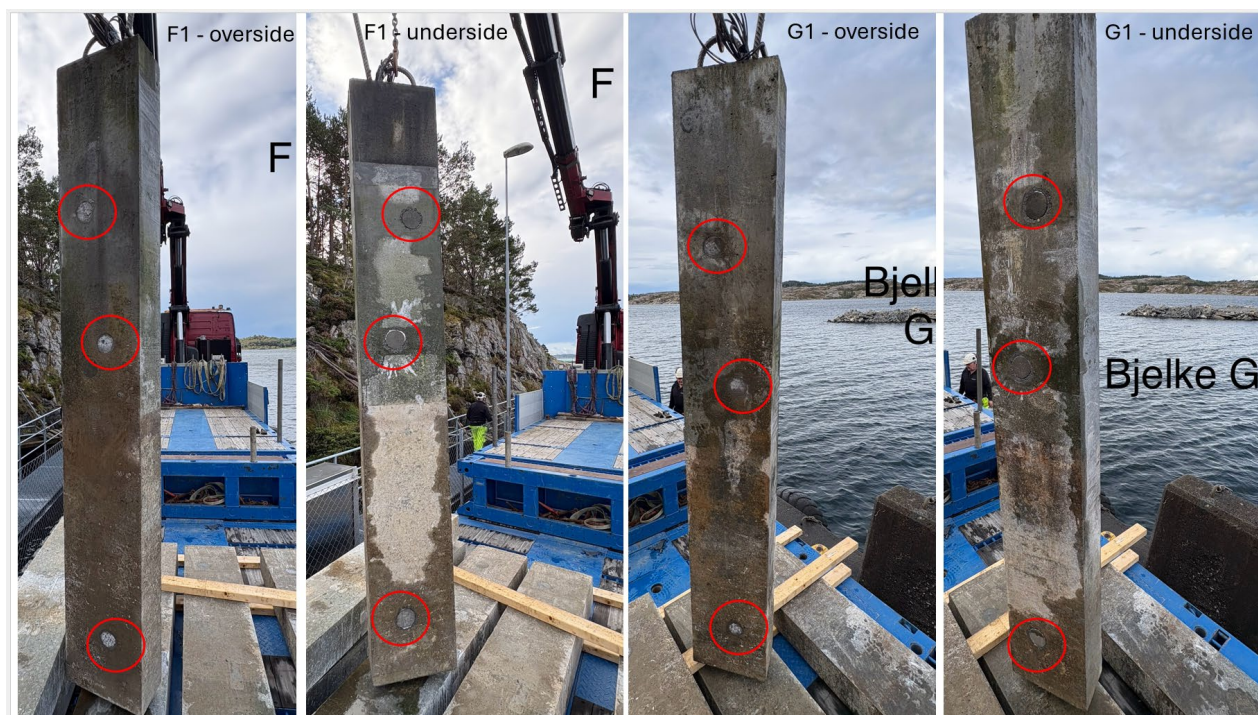
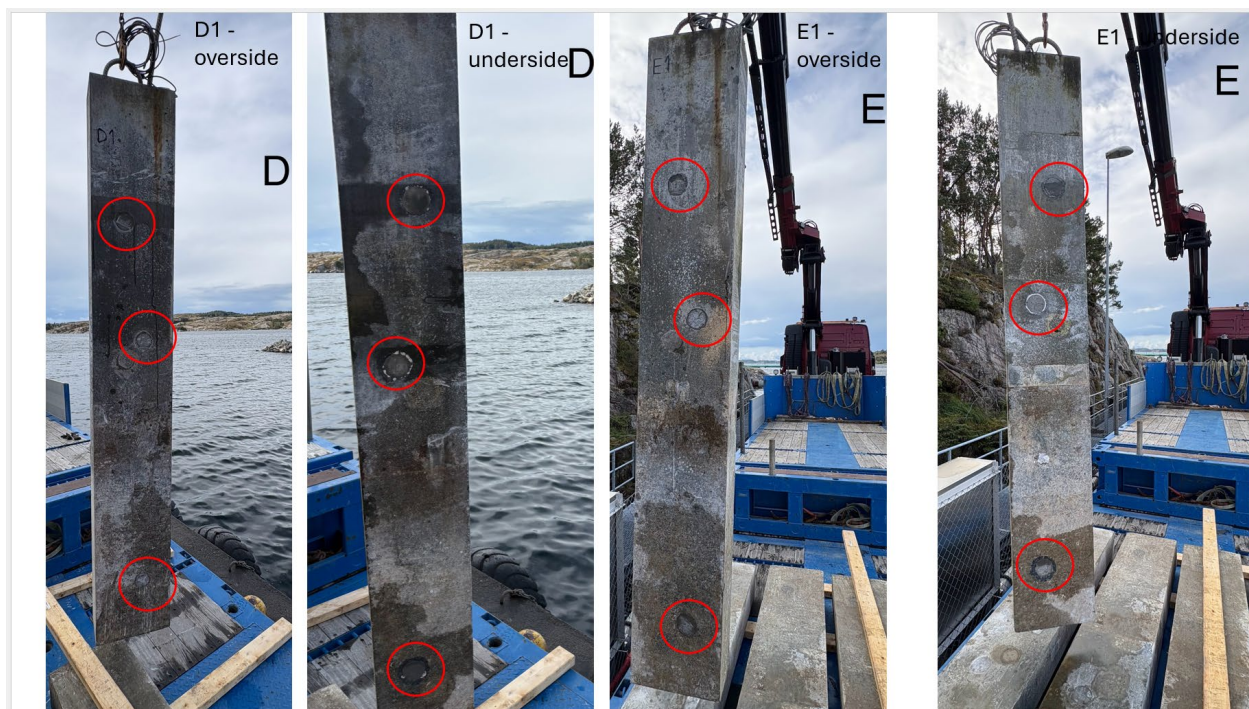
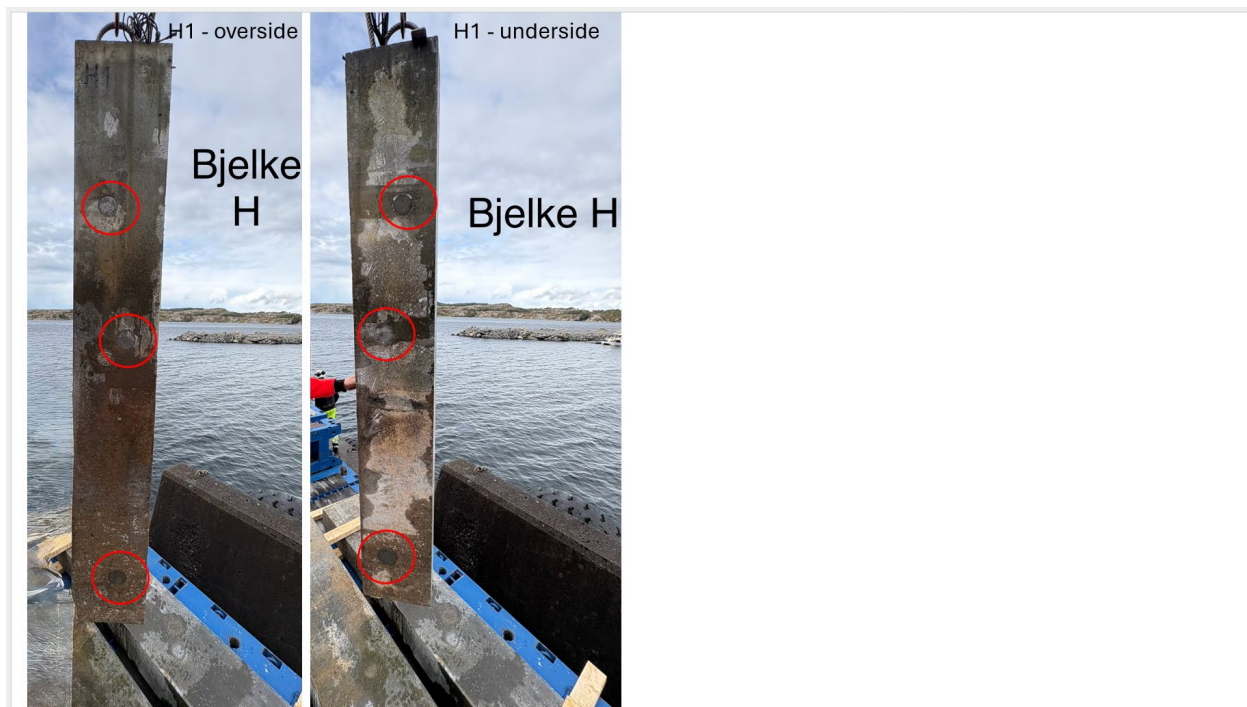


Foto tatt av Statens vegvesen DoV før tilbakesetting av bjelkene i sjø





Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag