

Kloridbestandighet, prøving etter 3-4 år

Austefjorden feltstasjon - prøving av betong i marint miljø

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 1016



Tittel

Kloridbestandighet, prøving etter 3-4 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

1016

Prosjektleder

Bård M. Pedersen

Godkjent av

Øyvind Bjøntegaard

Emneord

Betong, feltstasjon, bestandighet, klorider

Sammendrag

Statens vegvesen etablerte i 2017 en ny feltstasjon for langtidseksposering av betong i marint miljø, ved Austefjorden ferjekai utenfor Bergen. Feltstasjonen er tilrettelagt for utplassering av armerte betongelementer, med eller uten instrumentering. De første 19 elementene ble utplassert ved feltstasjonen i januar 2018 (Fase I) og i mars 2019 (Fase II). Denne rapporten beskriver felt- og laboratorieprøving utført på åtte ikke-instrumenterte elementer i 2022, etter hhv. fire (fase I) og tre (fase II) års felteksponering. Prøvingen omfatter kloridinntrenging, spesifikk elektrisk motstand, EKP-målinger, trykkfasthet og porøsitet.

Title

Chloride resistance, testing after 3-4 years

Subtitle

Austefjorden field station - testing of concrete in marine environmental

Author

Eva Rodum, Karla Hornbostel og Bård M. Pedersen

Department

Structures

Section

Structural Engineering

Project number

L10078

Report number

1016

Project manager

Bård M. Pedersen

Approved by

Øyvind Bjøntegaard

Key words

Concrete, field station, durability, chlorides

Summary

In 2017, the Norwegian Public Roads Administration established a new field station for long-term field exposure of concrete in marine environment, in the Austefjord outside Bergen. A total of 19 elements cast with eight different concretes were placed in the field station in January 2018 (Phase I) and March 2019 (Phase II). This report describes field- and laboratory testing performed on eight non-instrumented concrete elements, after four (Phase I) and three (Phase II) years of field exposure. The testing includes chloride ingress, resistivity, ECP-measurements, compressive strength, and porosity.



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	6
4.4 Inspeksjon og merking av elementer	8
4.5 Måling av spesifikk elektrisk motstand	10
4.6 EKP-målinger.....	11
4.7 Utboring av kjerner.....	13
5 Reparasjon av borhull og tilbakesetting av elementer	15
6 Laboratorieprøving ved Sentrallaboratoriet i Oslo	16
6.1 Mottak, oppbevaring og disponering av kjerner	16
6.2 Framstilling av kloridprofiler og beregning av kloriddifusjonskoeffisienter	16
6.3 Bestemmelse av spesifikk elektrisk motstand	19
6.4 Bestemmelse av porøsitet.....	20
6.5 Bestemmelse av trykkfasthet og densitet.....	21
7 Oppsummering og vurdering av resultater	22
7.1 Spesifikk elektrisk motstand.....	22
7.2 Elektrokjemisk potensial (EKP)	26
7.3 Kloriddifusjon.....	27
7.4 Trykkfasthet	28
7.5 Porøsitet	28
8 Videre behandling av resultatene	30
9 Anbefalinger for prøvingsrunde 2	30
10 Referanser	31
Vedlegg 1: Plan for feltarbeidene	
Vedlegg 2: Elektrokjemiske potensialer	
Vedlegg 3: Kloridprofiler og kloriddifusjonskoeffisienter	

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 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.

Foreliggende rapport omhandler felt- og laboratorieprøving utført på åtte ikke-instrumenterte elementer i 2022, etter hhv. fire (fase I) og tre (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/.

Data fra de instrumenterte elementene (fra fase II) logges fortløpende og resultatene rapporteres årlig i interne notater /4/.

Denne rapporten beskriver felt- og laboratorieprøving utført på åtte ikke-instrumenterte elementer i 2022, etter hhv. fire (fase I) og tre (fase II) års eksponering.

2 Målsetning

Målet med rapporten er å dokumentere de åtte utplasserte betongenes kloridmotstand etter tre til fire års eksponering, samt bestemme betongens spesifikke elektrisk motstand og armeringens elektrokjemiske potensialer.

Resultatene er sammenholdt mot resultater fra bestandighetsprøving utført i laboratorium ved 90 døgns betongalder, rapportert i /3/.

3 Betonger

En oversikt over betongene som er inkludert i fase I og II er vist i Tabell 1. Betongnavnene angir sementtype og total mengde flygeaske (FA) eller slagg (i % av total 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 laboratedokumentasjon 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	slag			
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	-	45	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	-	30	4	0,39	07.12.2018
H	Aalborg Rapid 20 %	Aalb20	20	-	4	0,39	11.12.2018

1) Flygeaske (FA) og silikainnhold er gitt som vekt-% av total bindemiddelmengde (sement+FA+silika).

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

Tabell 2 Proporsjonerte/nominelle betongresepter

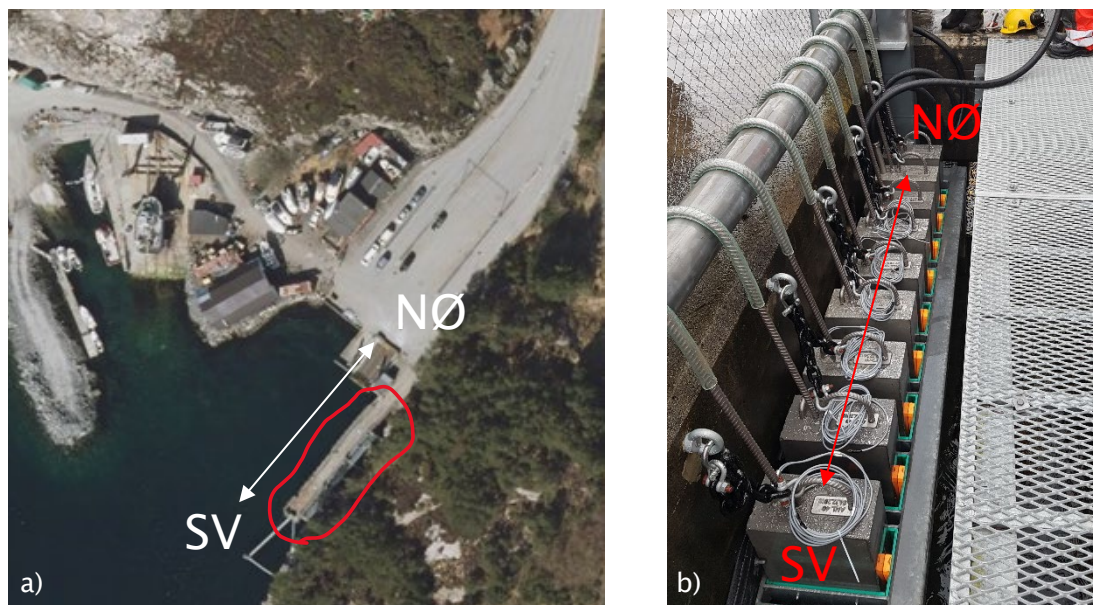
Materialer, kg/m ³	Betonger							
	Fase I (2017)					Fase II (2018)		
	A Std0	B Std18	C Std40	D Anl15	E Cemex45	F Anl40	G Miljø	H Aalb20
Norcem Standard	427,2							
Norcem Standard FA		419,0	281,6					
Norcem Anlegg FA				420,0		272,3		
Cemex CEM III/A					420,8			
Aalborg Rapid								338,7
Cemex 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) 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

BMO var leid inn til praktisk arbeid med oppheising av elementer, utboring av kjerner, reparasjon av borhull og tilbakesetting av elementene.

Feltemålinger og utboring av kjerner ble utført 26–27/4–22. Under dette arbeidet var representanter fra Statens vegvesen til stede. Reparasjon av borhull ble utført 29/4–22 og elementene hengt på plass igjen 2/5–22.

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 1

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

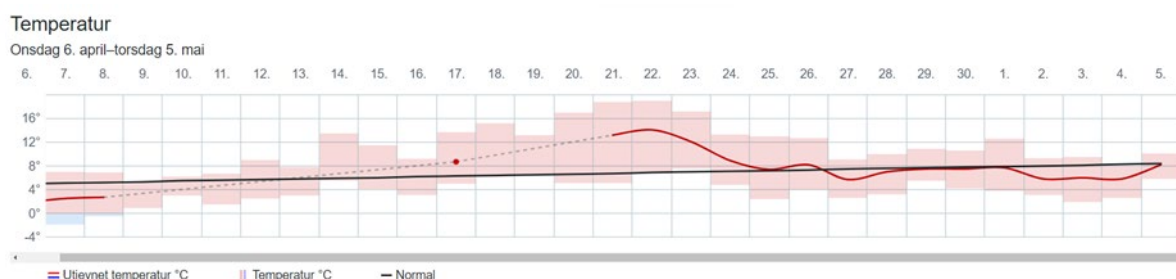


FIGUR 2 FOTO AV ELEMENTENE UTLAGT FORAN FERJEKAIEMMEN. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN

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

Til stede under feltarbeidet (helt eller delvis): Karla Hornbostel, Statens vegvesen, Tobias Danner, SINTEF, Bård M. Pedersen, Statens vegvesen og Eva Rodum, Statens vegvesen. I tillegg to personer fra BMO og kranfører innleid av BMO.

Værforholdene under arbeidene var gode, med oppholdsvær og temperaturer mellom + 4 °C og +11 °C, se temperaturutskrift fra yr.no i Figur 3.



FIGUR 3 TEMPERATUROVERSIKT FOR AUSTEFJORDEN, ØYGARDEN, VESTLAND – I PERIODEN 6. APRIL – 5. MAI 2022. REF: YR.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 tidevannssoen og 1/3-del permanent neddykket i sjøen. For å kontrollere elementenes faktiske posisjon i forhold til tidevannet ble det 26/4–22 utført målinger av avstanden fra topp element G3 til sjø. Målingene ble utført med tommestokk og det må

påregnes noe unøyaktighet i måleverdiene. Resultatene er vist i Tabell 4, sammen med predikerte og registrerte vannstandsverdier fra Kartverket (kartverket.no). Foto av elementene ved predikert fjære er vist i Figur 4.

Tabell 4 Innmåling av elementenes posisjon i stållramma i forhold til predikert og faktisk registrert tidevann oppgitt fra Kartverket

Klokkeslett	Vannstand iht. data fra Kartverket		Elementer i Austefjorden 26/4-22		
	Predikert, over «middelvann (1996-2014)», cm	Registrert*), over «middelvann (1996-2014)», cm	Målt avstand fra topp element G3 til sjø, cm	Beregnet avstand fra midt på element G3 til sjø, cm	Avvik registrert middelvann (Kartverket) til senter element, cm
08:08	23 (flo)	20			
08:14		20	125	10	10
08:38		20	126	9	11
09:07		15	129	6	9
10:09		1	146	-11	12
11:10		-14	155	-20	6
12:44		-37	180	-45	8
13:12		-44	185	-50	6
14:12		-54	192	-57	3
14:42	-50 (fjære)	-55			
14:43		-55	193	-58	3

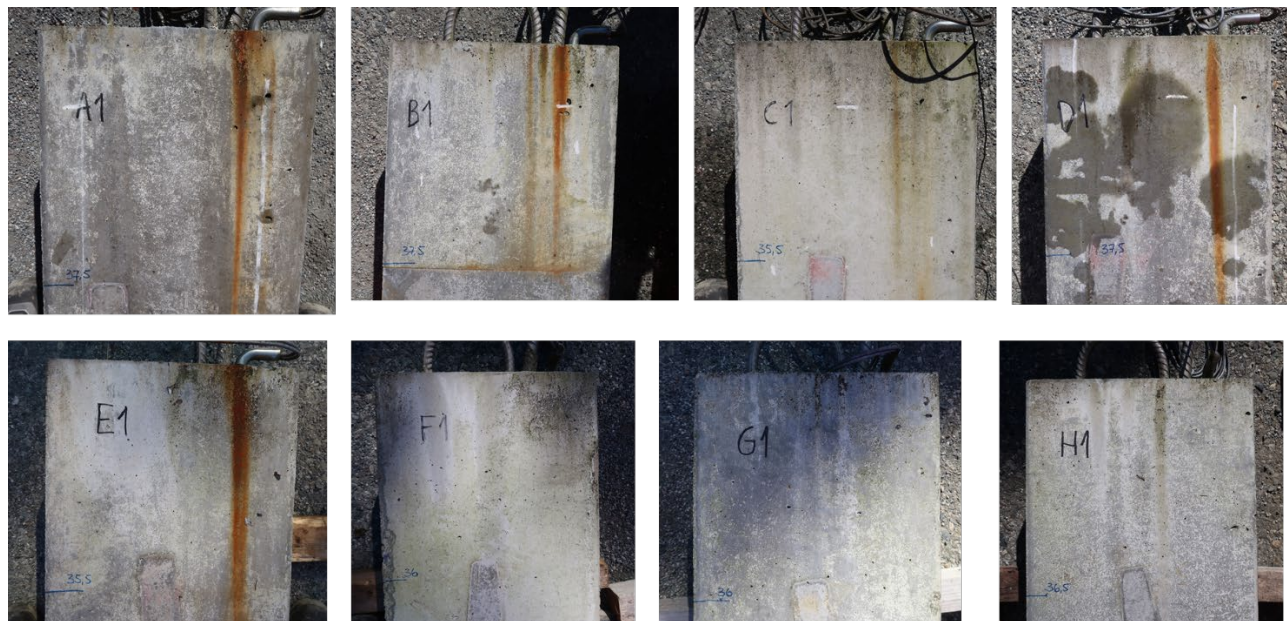
*) Vannstandsmålinger fra den nærmeste målestasjonen korrigert til Austefjorden ferjekai

Målingene indikerer at senter av elementene ligger 5–10 cm høyere enn Kartverkets referanseverdi «middelvann (1996–2014)».



FIGUR 4 ELEMENTER I RAMMESYSTEMET FOTOGRAFERT VED PREDIKERT FJÆRE 26/4-22 (KL 14:49). FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN

Det ble videre foretatt kontrollmålinger av avstander fra topp element til øverste rammefeste, både for å kontrollere hvert elements posisjon i ramma og for å unngå prøvetaking i områder bak rammefestene. Det ble satt en strek på elementet i nivå med øvre rammefeste før oppheising, og avstanden målt etter oppheising, se foto i Figur 5. Resultatene er gitt i Tabell 5.



FIGUR 5 MÅLT AVSTAND FRA ØK ELEMENT TIL ØK ØVRE RAMMEFESTE FOR ELEMENT A1–H1. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN

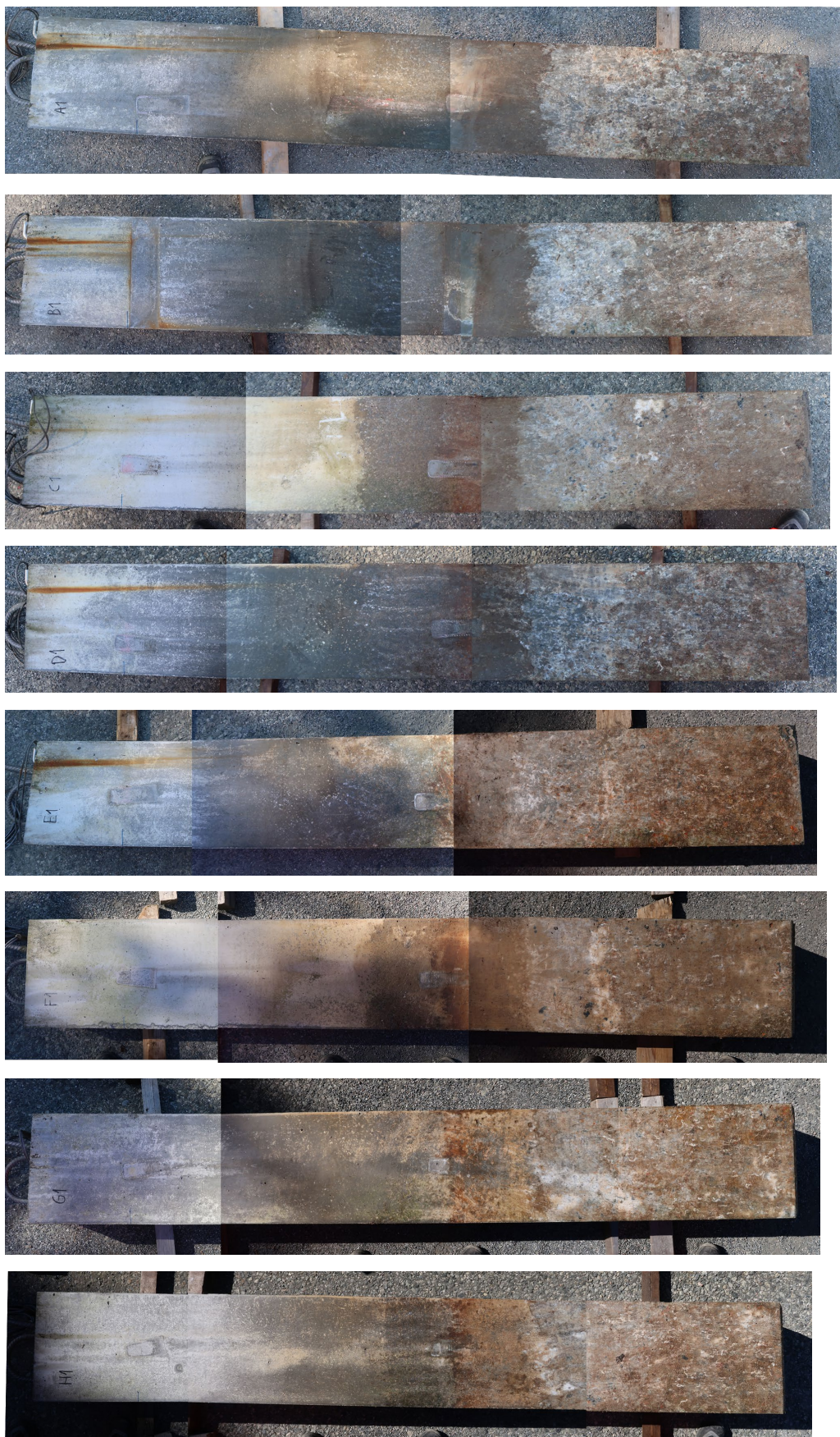
Tabell 5 Målt avstand fra øk element til øk øvre rammefeste

Element	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1
Avstand, cm	37,5	37,5	35,5	37,5	35,5	36,0	36,0	36,5

Avstand mellom øk øverste og øk nederste rammefeste ble også kontrollmålt, til 108 cm, hvilket er nøyaktig i henhold til tegning.

4.4 Inspeksjon og merking av elementer

De ulike eksponeringssoner var synlig på elementene etter oppheising og avskraping av begroing. Øvre del av elementet (luftsonen) var fri for begroing, mens nedre del (neddykket sone) bar preg av kraftig begroing. Midtre del (tidevannssonen) hadde fra ingen til lettere begroing. Foto av hvert element (sammenstilt av tre foto pr element) er vist i Figur 6.



FIGUR 6 OVERSIKTSFOTO AV ELEMENTENE ETTER OPPLEGGING PÅ KAI, FRA ELEMENT A1 (ØVERST) TIL ELEMENT H1 (NEDERST). HVERT FOTO ER SATT SAMMEN AV TRE ENKELTFOTO. FOTO: EVA RODUM

Lengde- og bøylearmering ble identifisert med covermeter og armeringens lokalitet tegnet på elementene med kritt (se foto i Figur 7), som utgangspunkt for overflatemålinger og kjerneboringer. Det var som ventet svært god overensstemmelse mellom tegning/ spesifikasjoner og faktisk målt lokalitet/overdekning.

Det ble registrert at kanter mot bunnflaten av element F1, G1 og H1 var avfaset, se foto i Figur 8. Dette i motsetning til elementer produsert i fase I.



FIGUR 7 LOKALITET AV LENGDE- OG BØYLEARMERING BLE TEGNET PÅ OVERFLATENE MED KRITT. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN



FIGUR 8 AVFASEDE KANTER MOT BUNNFLATE AV ELEMENT F1, G1 OG H1 (ELEMENTER STØPT I FASE II). FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN

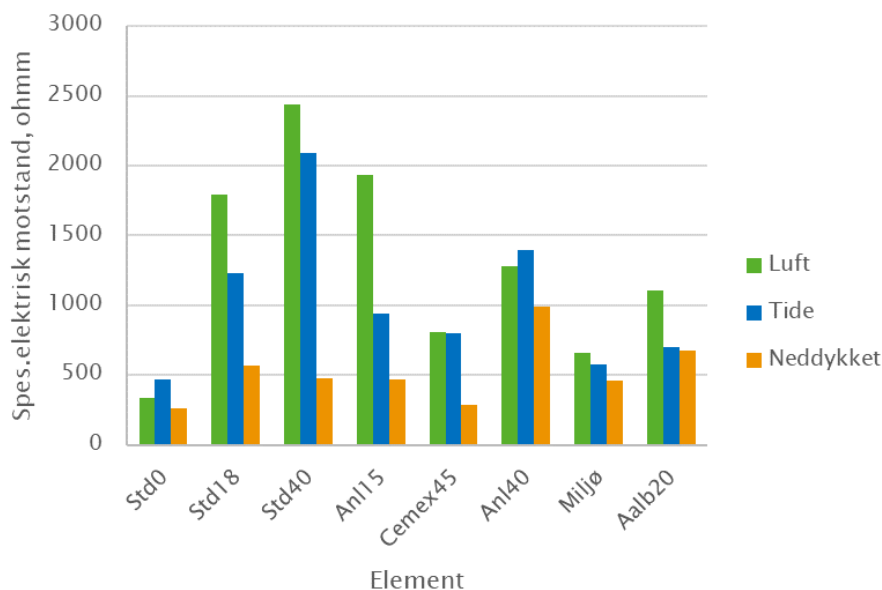
4.5 Måling av spesifikk elektrisk motstand

Spesifikk elektrisk motstand ble målt ved bruk av et fire-elektroders «Wenner» -instrument (Resipod fra Screening Eagle), hhv. i luftsone, tidevannssone og neddykket sone av hvert element. Målingene ble gjort mellom lengdearmering/bøyler. Betongen var overflatetørr under målingene og lufttemperaturen var ca. 12°C. Som kontakt mellom betongoverflaten og instrumentenes elektroder ble det brukt fuktige svamper.

Resultatene er sammenstilt i Tabell 6 og presentert grafisk i Figur 9.

Tabell 6 Spesifikk elektrisk motstand målt med 4-elektrode Wenner utstyr, ved ca. 12°C, gjennomsnittsverdier av flere målinger i samme sone (T=luft, M=tidevann og B=neddykket).

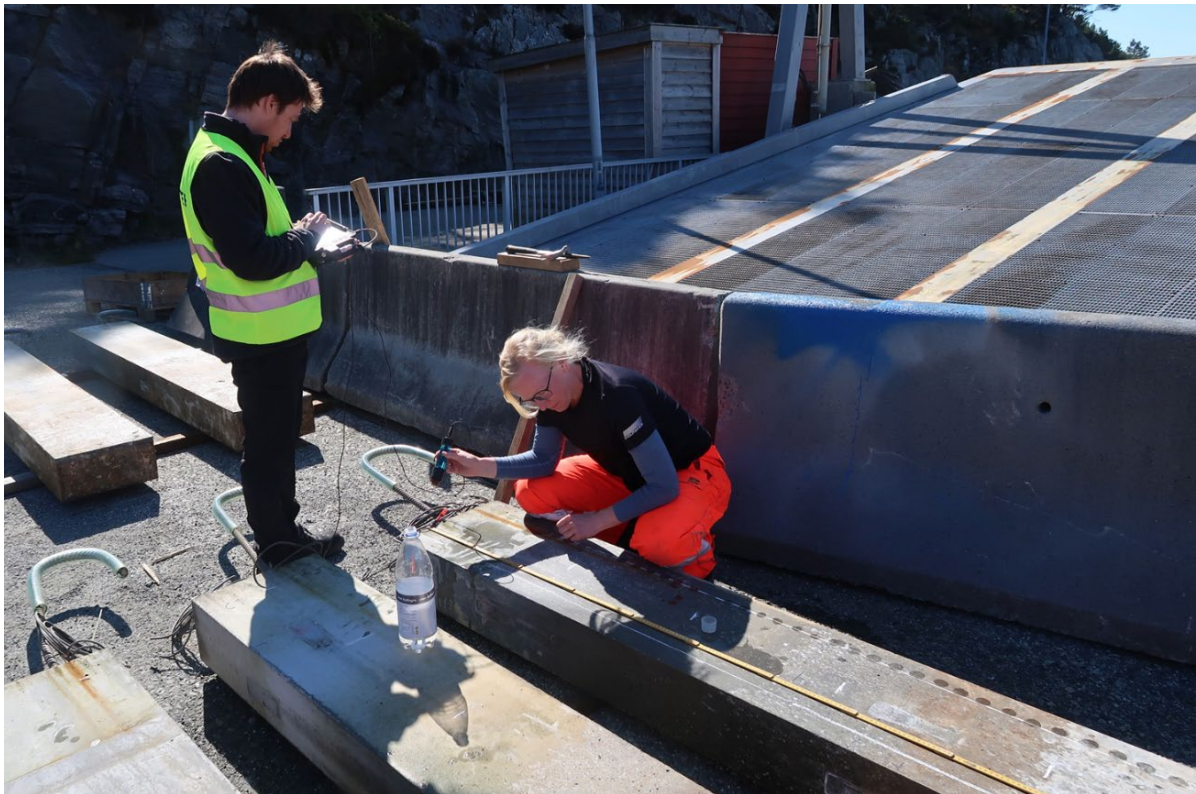
ρ [Ωm]	Betonger							
	Fase I (2017)					Fase II (2018)		
	Eksponeringstid: 4 år					Eksponeringstid: 3 år		
	A1 Std0	B1 Std18	C1 Std40	D1 Anl15	E1 Cemex45	F1 Anl40	G1 Miljø	H1 Aalb20
T	340	1790	2440	1930	810	1280	660	1110
M	470	1230	2090	940	800	1400	580	700
B	260	570	480	470	290	990	460	680



FIGUR 9 SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT I FELT MED 4-ELEKTRODE WENNER UTSTYR, MÅLINGER VED LUFTTEMPERATUR CA. 12°C.

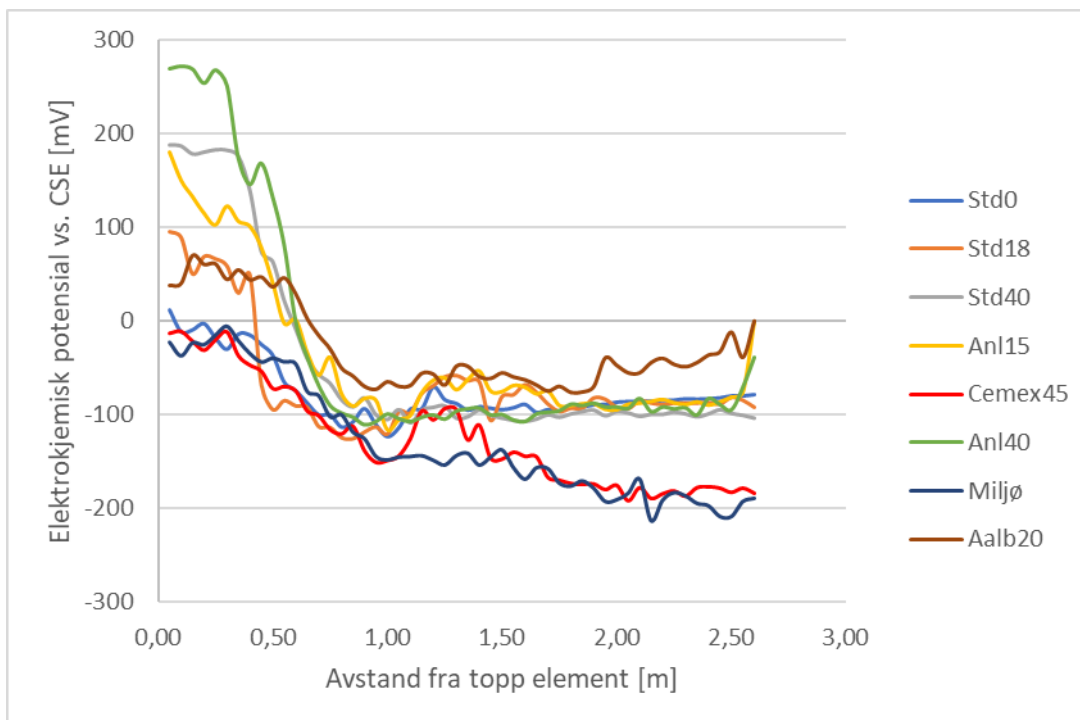
4.6 EKP-målinger

Elektrokjemiske potensialmålinger (EKP-målinger) ble utført langs hver lengdearmring, med ca. 5 cm avstand mellom målepunktene, se foto i Figur 10. Målelinje 1 ble tegnet opp over armering lengst fra kaikant og målelinje 2 over armering nærmest kaikant (når elementet henger i rammesystemet). Målingene ble utført med en stavelektrode av type kobber-kobbersulfatelektrode ($\text{Cu}/\text{Cu}_2\text{SO}_4$, CSE). Målingene ble registrert med et multimeter innbygd i et kommersielt måleinstrument (Profometer Corrosion fra Screening Eagle).



FIGUR 10 MÅLING AV OVERFLATEPOTENSIALER PÅ ELEMENT D1. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN

Alle enkeltresultater for hvert element er gitt i tabell og fremstilt grafisk i Vedlegg 2. Gjennomsnittsverdier per element er sammenstilt i Figur 11.

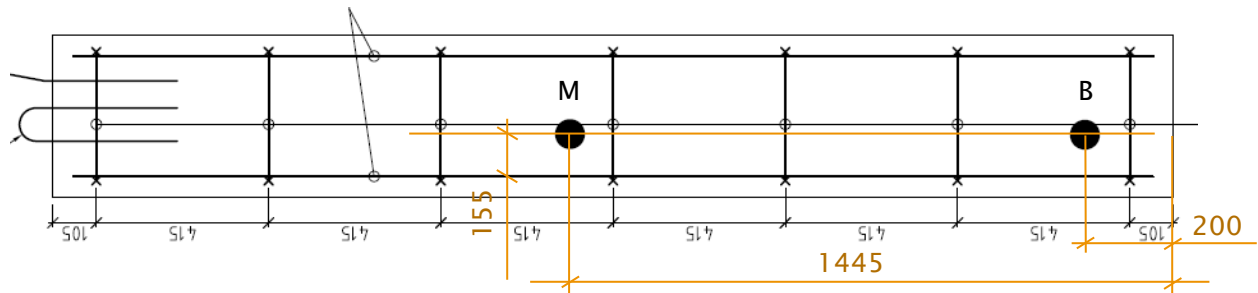


FIGUR 11 RESULTATER FRA EKP-MÅLINGER (VS. CSE) FOR ALLE ELEMENTER, GJENNOMSNIITT AV TO MÅLELINJER PR. ELEMENT.

4.7 Utboring av kjerner

Det ble boret ut 2 stk gjennomgående $\varnothing 74$ mm kjerner pr element, én i tidevannssonen og én i neddykket sone. Lokalitetene 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 12. Foto av utvalgte elementer etter utboring av kjerner er vist i Figur 13.



FIGUR 12 LOKALITET AV KJERNER. KJERNER MERKET M ER BORET MIDT I ELEMENTET, MENS KJERNER MERKET B ER BORET I BUNN AV ELEMENTET.



FIGUR 13 ELEMENT A1(NÆRMEST), B1, C1 OG D1 ETTER UTBORING AV KJERNER. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN

Kjernene ble tørket av med tørkepapir og merket med elementnavn (A1–H1) og posisjon (M=midt=tidevannssone eller B=bunn=neddykket sone). Pil mot flate mot NØ, se foto i Figur 14.



FIGUR 14 EKSEMPEL PÅ MERKING AV KJERNE. KJERNEN ER BORET UT FRA ELEMENT G1, BUNN (NEDDYKKET SONE). FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN.

Kjernene ble deretter pakket i tynnplastfilm og plastpose som ble tapet godt sammen og merket før de ble pakket i bobleplast og lagt i pallekasse for forsendelse til Sentrallaboratoriet, se foto i Figur 15.



FIGUR 15 TIL VENSTRE: PLASTINNPAKKEDE OG MERKEDE KJERNER, TIL HØYRE: PALLEKASSE MED ALLE KJERNENE PAKKET I BOBLEPLAST, KLAR FOR FORSENDELSE TIL SENTRALLABORATORIET I OSLO. FOTO: EVA RODUM, STATENS VEGVESEN.

Etter utboring av kjernene ble elementenes overflater og borhull rengjort ved spyling med vann. Deretter ble elementene tildekket med presenning fram til reparasjon av borhull, se foto i Figur 16.



FIGUR 16 ETTER UTBORING AV KJERNER OG RENGJØRING AV OVERFLATER BLE ELEMENTENE TILDEKKET MED PRESENNINGER FRAM TIL REPARASJON AV BORHULL. FOTO: BMO.

5 Reparasjon av borhull og tilbakesetting av elementer

Borhullene ble reparert av BMO 29/4–2022, iht. 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.

Foto tatt av BMO under og etter reparasjonsarbeidene er vist i Figur 17 og Figur 18. Elementene ble hengt på plass i rammesystemet igjen 2. mai 2022.



FIGUR 17 REPARASJON AV BORHULL. FOTO: BMO.



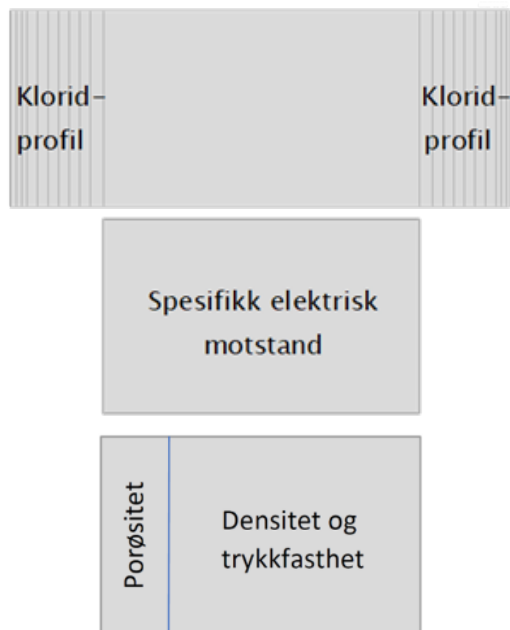
FIGUR 18 ELEMENTENE TILDEKKET MED PRESENNINGER ETTER UTFØRT REPARASJON AV BORHULL. FOTO: BMO.

6 Laboratorieprøving ved Sentrallaboratoriet i Oslo

6.1 Mottak, oppbevaring og disponering av kjerner

Kjernene ble mottatt ved Statens vegvesens Sentrallaboratorium i Oslo 28/4–22. 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 19.



FIGUR 19 DISPONERING AV KJERNER TIL LABORATORIEUNDERSØKELSER

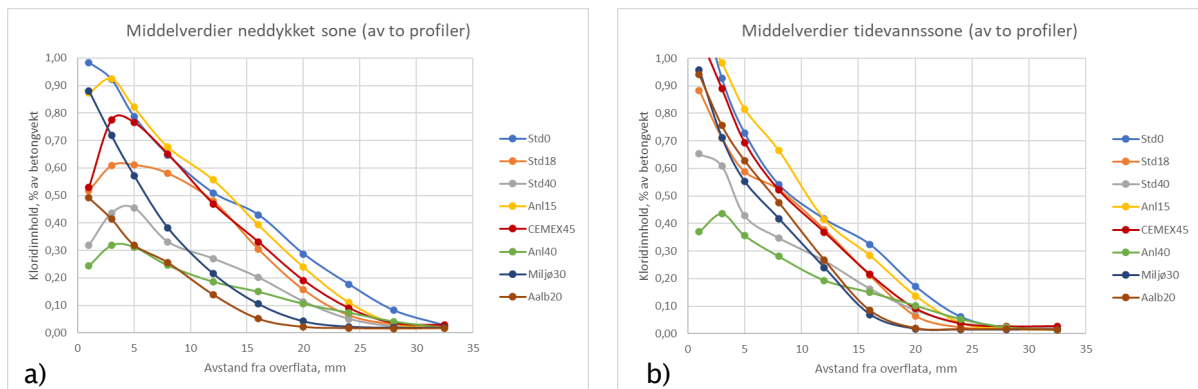
6.2 Framstilling av kloridprofiler og beregning av kloriddiffusjonskoeffisienter

Fresing av betongstøv for analyse av kloridinnhold ble utført i perioden 3–18/5 2022.

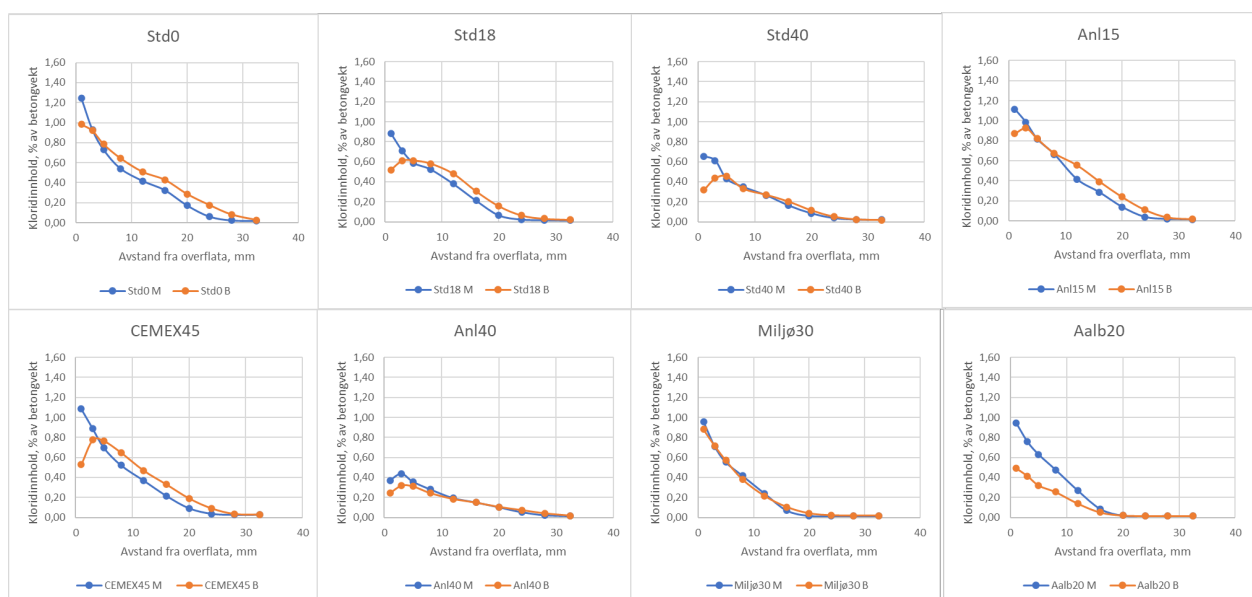
Kjernene ble frest fra begge endeflater, i følgende sjikt: 0–2, 2–4, 4–6, 6–10, 10–14, 14–18, 18–22, 22–26, 26–30, 30–35 mm.

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

Gjennomsnitts kloridprofiler for alle betonger, hhv. i neddykket sone og tidevannssonen, er vist i Figur 20 og Figur 21. Alle enkeltresultater finnes i tabeller og figurer i Vedlegg 3.



FIGUR 20 KLORIDPROFILER PR. BETONG, MIDDELVERDIER AV TO PROFILER (FRA NØ OG SV), A) I NEDDYKKET SONE OG B) I TIDEVANSSONEN. MERK: ANL40, MILJØ30 OG AALB20 HAR EKSPONERINGSTID 3 ÅR, ØVRIGE BETONGER 4 ÅR.



FIGUR 21 KLORIDPROFILER PR. BETONG, MIDDELVERDIER AV TO PROFILER (FRA NØ OG SV), HHV. I NEDDYKKET SONE (B – ORANSJE KURVER) OG I TIDEVANSSONEN (M – BLÅ KURVER). MERK: ANL40, MILJØ30 OG AALB20 HAR EKSPONERINGSTID 3 ÅR, ØVRIGE BETONGER 4 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

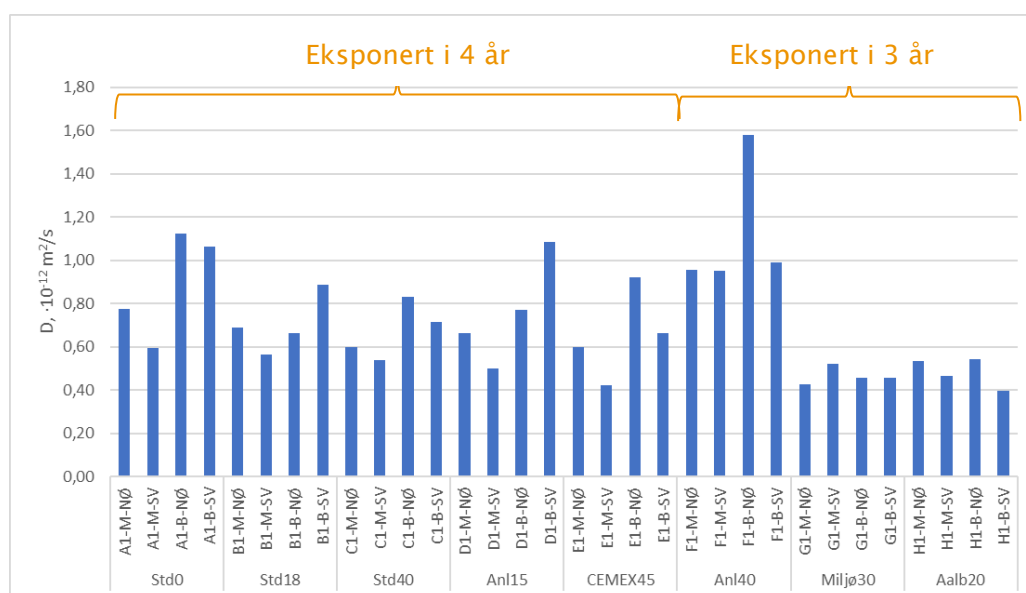
Diffusjonskoeffisienten, D , og overflatekonsentrasjonen, C_0 , bestemmes ved å tilpasse ligningen til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse ved minste kvadratots metode.

Første punkt i profilene er utelatt i beregningene, for noen få profiler er andre enkeltpunkter med avvikende posisjon utelatt. Sjøkt 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 26.04.2022 – dvs. 1546 dager = 37104 timer
- Resept F-H: Fra 06.03.2019 til 26.04.2022 – dvs. 1147 dager = 27528 timer

Alle beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter (enkeltverdier pr kloridprofil) er vist i Figur 22.

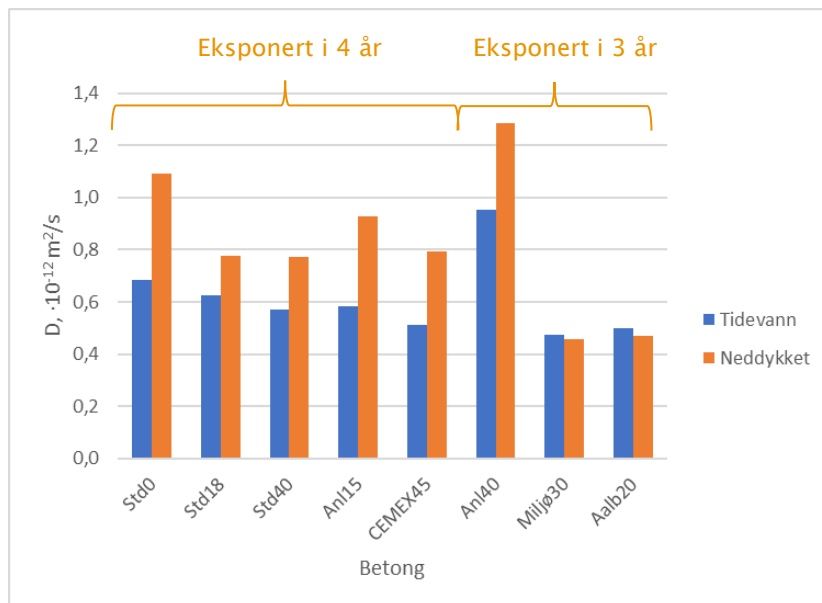
Beregnete gjennomsnittsverdier for kloriddiffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon, for hhv. tidevannssone og neddykket sone, er vist i Tabell 7 og fremstilt grafisk i Figur 23.



FIGUR 22 BEREGNEDE KLORIDDIFFUSJONSKOEFFISIENTER, ENKELTVERDIER PR KLORIDPROFIL.

Tabell 7 Beregnede diffusjonskoeffisienter og overflatekonsentrasjoner, middelverdier av to profiler (NØ og SV)

Eksponerings- tid [år]	Betong	Diffusjonskoeffisienter [10 ⁻¹² m ² /s]		Overflatekonsentrasjon [% av betongvekt]	
		Tidevann	Neddykket	Tidevann	Neddykket
4	Std0	0,68	1,09	1,072	1,045
	Std18	0,63	0,78	0,885	1,012
	Std40	0,57	0,77	0,696	0,611
	Anl15	0,58	0,93	1,215	1,115
	Cemex45	0,51	0,79	1,082	1,087
3	Anl40	0,95	1,28	0,506	0,411
	Miljø30	0,47	0,46	0,941	0,946
	Aalb20	0,50	0,47	1,012	0,544



FIGUR 23 BEREGNEDE KLORIDDIFFUSJONSKOEFFISIENTER, MIDDELVERDIER PR. BETONG OG EKSPONERINGS-
SONE.

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:

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

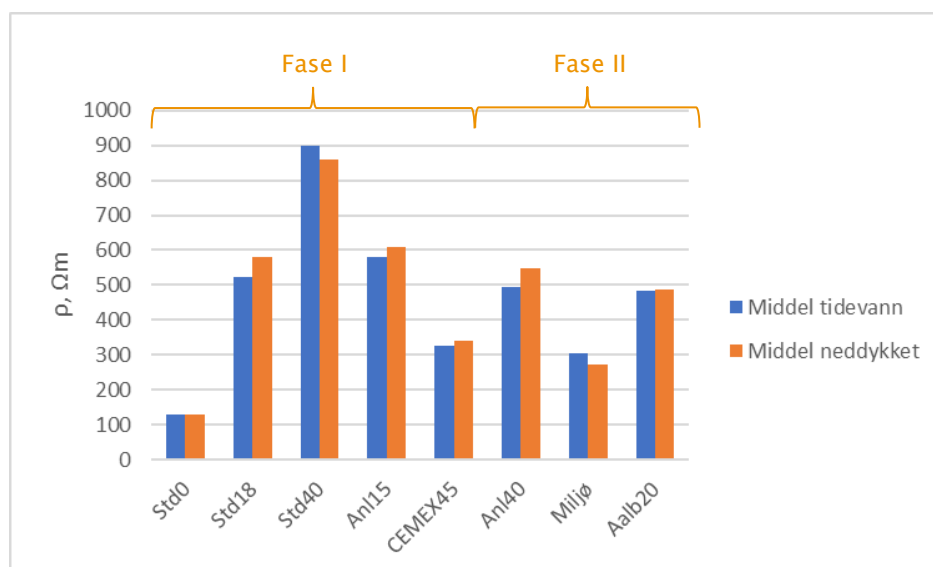
hvor: ρ : Spesifikk elektrisk motstand [Ωm]
 R : Målt elektrisk motstand [Ω]
 A : Areal på prøvens base (sylinder)
 l : Høyde av prøvestykke

Resultatene er vist i Tabell 8.

Tabell 8 Spesifikk elektrisk motstand målt på midtstykker fra kjerner boret ut fra tidevannssonen (M) og neddykket sone (B), hhv. 6, 14, 22 og 29 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
6	21	M	126	508	880	554	310	423	290	475
		B	131	576	833	590	321	489	256	480
14	21,5	M	127	517	895	577	325	479	302	483
		B	130	579	847	607	336	538	270	486
22	22	M	123	502	862	563	321	499	297	470
		B	124	554	824	589	332	545	270	472
29	19	M	135	562	962	632	355	576	328	513
		B	137	617	928	655	370	613	297	515
Middelverdier over perioden		M	128	522	900	581	328	494	304	485
		B	131	581	858	610	340	546	273	488
		Alle	129	552	879	596	334	520	289	487

Resultatene er stabile over måleperioden, men synes å svinge noe med temperaturen i vannet (iht. kjent temperatureffekt). Middelverdier over måleperioden, hhv. tidevannssone og neddykket sone, er vist i Figur 24.



FIGUR 24 SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND. MIDDELVERDIER OVER MÅLEPERIODEN FOR HHV. TIDEVANNS- SONE 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 to prøvestykker pr. betong er vist i Tabell 9.

Tabell 9 Resultater fra porøsitetmålinger

Betong	Sugmettet densitet, kg/m ³	Sugporøsitet, %	Makroporøsitet, %	PF
Std0	2390	13,5	2,9	0,18
Std18	2360	15,2	3,2	0,17
Std40	2320	15,9	3,9	0,20
Anl15	2370	15,3	2,7	0,15
CEMEX45	2370	14,6	3,0	0,17
Anl40	2330	15,3	3,9	0,20
Miljø	2370	14,9	3,0	0,17
Aalb20	2380	13,6	3,0	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 85–100 mm.

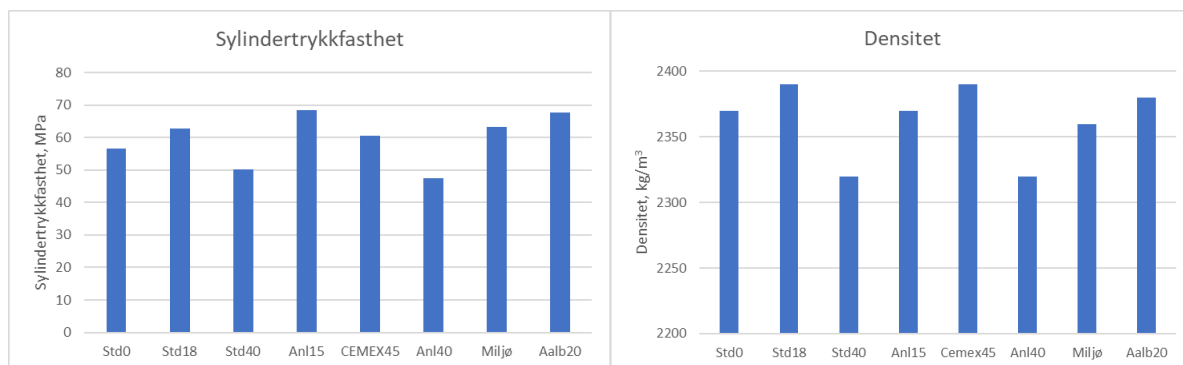
Alle trykkfasthetsresultater, omregnet til høyde/diameter = 2, er gitt i Tabell 10. Densitetsverdiene er gitt i Tabell 11. Middelverdier pr betong er vist i Figur 25.

Tabell 10 Sylindertykkfasthet, omregnet til h/d=2, bestemt på midtstykket av hver kjerne

Sone	Sylindertykkfasthet [MPa]							
	Std0	Std18	Std40	Anl15	Cemex45	Anl40	Miljø	Aalb20
Tidevann (M)	57,6	64,3	46,7	72,1	68,1	43,1	71,3	65,4
Neddykket (B)	55,7	61,4	53,6	64,6	52,7	51,6	55,0	70,1
Middel	56,7	62,9	50,1	68,4	60,4	47,4	63,2	67,8

Tabell 11 Densitet bestemt på midtstykket av hver kjerne

Sone	Densitet [kg/m ³]							
	Std0	Std18	Std40	Anl15	Cemex45	Anl40	Miljø	Aalb20
Tidevann (M)	2380	2400	2310	2360	2390	2320	2380	2380
Neddykket (B)	2360	2370	2320	2370	2390	2310	2340	2370
Middel	2370	2390	2320	2370	2390	2320	2360	2380



FIGUR 25 MÅLT SYLINDERTRYKKFASTHET OG DENSITET, MIDDELVERDIER AV 2 RESULTATER PR BETONG

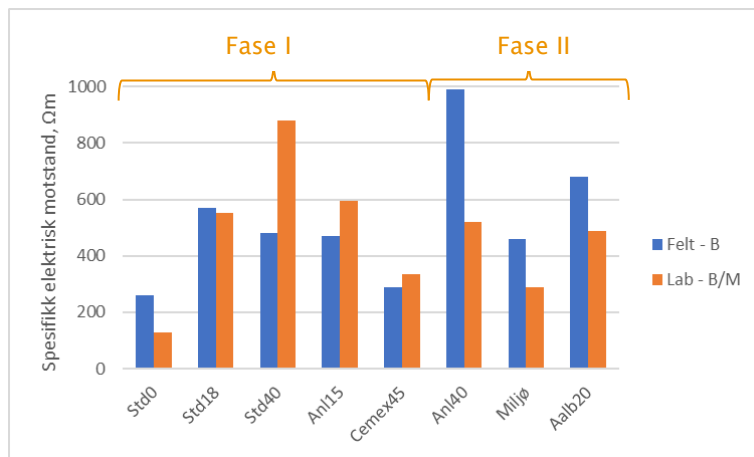
7 Oppsummering og vurdering av resultater

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 12 °C og in-situ fuktinnhold (etter at elementene hadde vært opplagt på kaia i 2–3 timer). Målinger i laboratorium er utført på midtstykket av utborede kjerner, etter forutgående vannlagring i 6–29 døgn ved ca. 20 °C.

Feltmålingene (se Figur 9) viser for de fleste betongene økende elektrisk motstand med økende høyde over sjø, fra neddykket sone til luftsonen. For alle betongene er det målt lavest motstand i neddykket sone. Dette er som forventet, ettersom spesifikk elektrisk motstand er sterkt påvirket av betongens fuktinnhold. For to av betongene (Std0 og Anl40) er det målt høyere motstand i tidevannssonen enn i luftsonen, og for betonger i fase I er det større forskjell mellom neddykket sone og luft/tidevannssone enn for betonger i fase II. Om dette skyldes forskjeller i fuktinnholdet i overflatesjiktet (f.eks. pga. ulik uttørkingsgrad etter oppheising fra sjø), forhold knyttet til de ulike bindemidlene, eller ulik eksponeringstid er vanskelig å si.

For å vurdere forskjeller i spesifikk elektrisk motstand mellom betongene er det mest formålstjenlig å se på resultater fra målinger på betong med samme fuktinnhold – hhv. feltresultater målt på neddykket del (benevnt «felt-B») og laboratorieresultater målt på forfuktede midtstykker fra borkjerner (middelverdier av neddykket (B) og tidevann (M), benevnt «lab-B/M»), se Figur 26. Resultatene er ikke korrigert for ulik temperatur ved utførelsen av målingene i hhv. felt og lab. Som figurene viser, er det ikke en god sammenheng mellom felt- og laboratorieresultatene. Det er vanskelig å se hva som er årsaken til dette, men forskjeller i temperatur mellom laboratorium (ca. 20 °C) og felt (sjøtemperatur ca. 6 °C, lufttemperatur ca. 12 °C, og hvor betongtemperaturen vil variere pga. ulike solpåkjenning etter opplegging av elementene på kaia), er en sannsynlig årsak.



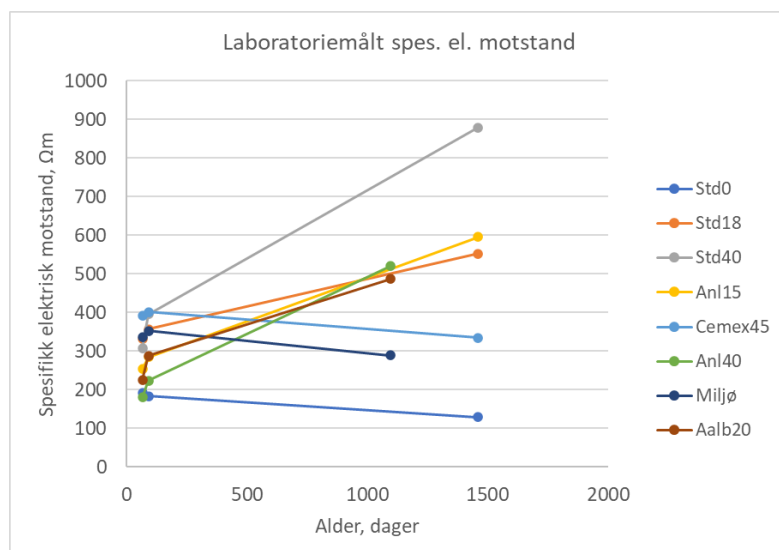
FIGUR 26 SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT HHV. I FELT (NEDDYKKET DEL) OG I LABORATORIUM (MIDDELVERDIER AV MIDTSTYKKER FRA NEDDYKKET SONE (B) OG TIDEVANSSONE (M))

Dersom en ønsker å sammenligne materialegenskapen spesifikk elektrisk motstand, er det mest riktig å studere laboratorieresultatene. Av Figur 26 (oransje stolper) kan en se at referansebetongen med ren portlandsement (Std0), har lavest motstand (130 Ωm), etterfulgt av betongene med slaggsementer (Cemex45 og Miljø, med 335 og 290 Ωm). Betongene med 15–20 % flygeaske (Std18, Anl15 og Aalb20) har høyere motstand (550, 600 og 490 Ωm), mens lavvarmebetongene med 40 % flygeaske (Std40 og Anl40) ligger på hhv, 880 og 520 Ωm. Det er godt kjent at tilsetning av flygeaske i betongen øker den spesifikke elektriske motstanden (også over tid), så det eneste som er å bemerke her er at Anl40-betongen har noe lavere motstand enn forventet.

De siste laboratorieresultatene kan også sammenlignes med tidligere målinger utført på vannlagrede (ca. 20 °C) terninger og sylindre støpt samtidig med elementene /3/, se Tabell 12 og Figur 27. Det bemerkes at prøvestykkene fra feltelementene representerer midtdelen av elementet. I motsetning til øvrige laboratorieprøver inkluderer den derfor ikke opprinnelig overflate, som over tid vil være påvirket av utluting av alkalier.

Tabell 12 Spesifikk elektrisk motstand [Ωm] målt i laboratorium. Middelverdier av to prøvestykker (B og M) pr. feltelement, sammenstilt med middelverdier bestemt på 6 sylindre ved ca. 65 døgns alder og 8–12 terninger ved 91 døgns alder

Temperatur	ca. 20°		
Betong/alder	Ca. 65 døgns, sylindre	91 dg, terninger	3-4 år, sylindre boret ut fra feltelementer
Std0	191	183	129
Std18	331	357	552
Std40	308	396	879
Anl15	253	284	596
Cemex45	391	401	334
Anl40	180	223	520
Miljø	337	352	289
Aalb20	226	288	487



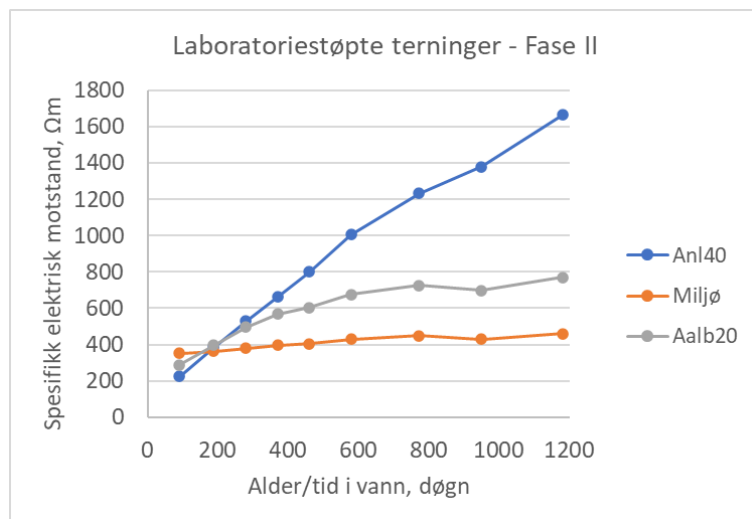
FIGUR 27 SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT I LABORATORIUM (VED CA. 20 °C) HHV. PÅ STØPTE SYLINDRE/TERNINGER VED 65/91 DØGNS ALDER OG MIDTSTYKKER AV UTBOREDE KJERNER (MIDDELVERDIER AV NEDDYKKET OG TIDEVANSSONE)

Figur 27 viser tydelig at motstanden målt på 3-års feltbetong er noe lavere enn motstanden målt på 2–3 måneders lab-betong for betongene uten flygeaske (Std0, Miljø og CEMEX45) (hvilket i praksis indikerer ingen utvikling), mens den er høyere for betongene med flygeaske, da med størst økning for betongene med 40 % flygeaske (Anl40 og Std40). Dette er i tråd med det som er forventet.

Terningene fra laboratorieprogrammet i fase II /3/ ble beholdt i vann og målt med jevne mellomrom fram til 3 års alder, se Tabell 13 og Figur 28.

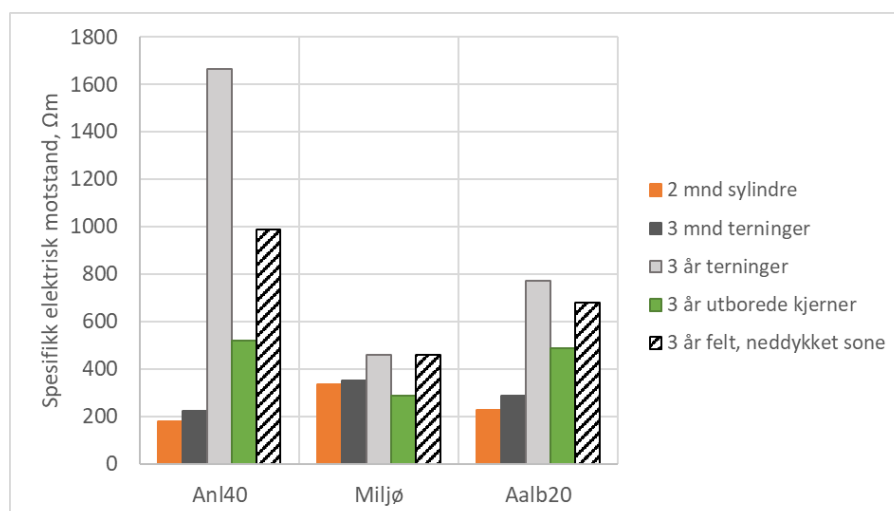
Tabell 13 Spesifikk elektrisk motstand [Ωm] målt på kontinuerlig vannlagrede terninger i laboratorium. Middelverdier av 12 terninger pr betong /3/.

Alder, dg	91	188	280	371	461	580	773	950	1180
Anl40	223	384	530	661	799	1007	1234	1380	1666
Miljø	352	363	379	396	406	429	449	429	461
Aalb20	288	397	495	567	605	675	727	698	771



FIGUR 28 UTVIKLING AV SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT I LABORATORIUM (VED CA. 20 °C) PÅ STØPTE, VANNLAGREDE TERNINGER /3/.

3-årsresultater for disse terningene er sammenstilt med øvrige resultater for betonger i fase II i Figur 29.



FIGUR 29 SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND MÅLT I LABORATORIUM (VED CA. 20 °C) HHV. PÅ STØPTE SYLINDRE/TERNINGER, MIDTSTYKKER AV UTBOREDE KJERNER (MIDDELVERDIER AV NEDDYKKET OG TIDEVANSSONE) OG FELTMÅLINGER PÅ NEDDYKKET DEL AV ELEMENTENE (ETTER OPPHEISING PÅ KAI, LUFTTEMPERATUR CA. 12 °C)

For alle betongene i fase II viser laboratoriemålinger utført på 3 års terninger og feltmålinger på 3 års elementer høyere verdier enn de øvrige målte verdier. En sannsynlig forklaring på de høyere verdiene for de vannlagrede terningene er utluting av alkalier i overflatesjiktet over tid. Ettersom utluting også vil foregå fra neddykket del av feltelementene, så er det mulig at dette også er en medvirkende årsak til de relativt sett høyere verdiene i felt. I tillegg vil temperaturforskjeller og forskjeller i målemetoder påvirke resultatene. De ulike målingene utført ved 3-års alder rangerer imidlertid de ulike betongene likt (Miljø < Aalb20 < Anl40).

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 14.

Tabell 14 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 eksponeringssone kan indikere korrosjon (lokal pitting/groptæring).

For ingen av 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). Ettersom kloridene enda ikke har nådd inn til armeringen (overdekningen til bøyle-/lengdearmeringen er 40/50 mm) er dette heller ikke å forvente.

Det kan imidlertid observeres en tydelig potensialforskjell mellom armeringen i luftsonen og armeringen i tidevanns-/neddykket sone, hvilket antas å kunne tilskrives forskjeller i betongens fuktighet og oksygennivå. Dette indikerer tydelig den innflytelsen disse parametrene har på de elektrokjemiske potensialene.

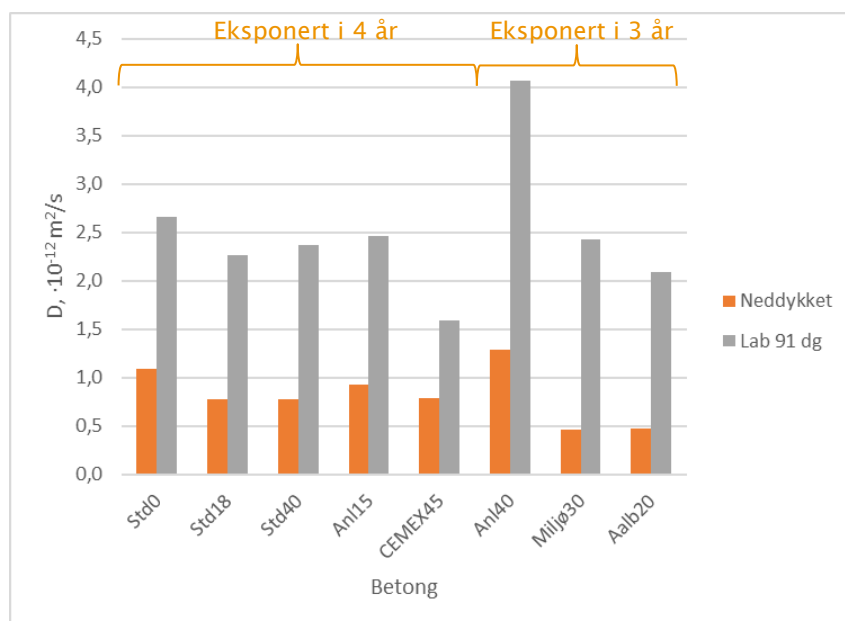
Det er også tydelig at armeringen i begge slagg-betongene (element E og G) har lavere potensialer enn armeringen i de andre betongene. Dette gjelder generelt, i alle soner, men spesielt i den neddykkede delen. Dette sammenfaller med observasjoner fra de instrumenterte elementene /4/, samt internasjonal litteratur /5, 6, 7/.

7.3 Kloriddiffusjon

Det er stor forskjell på formen på kloridprofilene for de ulike betongene, se Figur 20. Med unntak av for Aalb20, så er det relativt liten forskjell mellom kloridprofilene fra hhv. tidevanns- og neddykket sone, dog med stort sett høyere kloridinntrenging i neddykket sone. Dette gjenspeiler seg (naturlig nok) også i de beregnede kloriddiffusjonskoeffisientene. Diffusjonskoeffisientene er (markant) høyere i neddykket sone enn i tidevannssonen – for alle betonger uttatt Miljø og Aalb20, hvor forskjellen er marginalt omvendt. Det bemerkes at Miljø og Aalb20, sammen med Anl40, hadde vært eksponert i kun 3 år, mot 4 år for de øvrige betongene, på prøvingstidspunktet.

Ser en på diffusjonskoeffisientene (Figur 22), så er det en tydelig tendens til at tidevanns-verdiene er høyere på NØ-siden enn på SV-siden. Hvorvidt dette er tilfeldig eller et resultat av eksponeringsbetingelsene (vind, ulik skjerming mot sjøsprøyt), bør følges med på i senere prøvingsterminer. Det er ikke samme tendens for neddykket-verdiene.

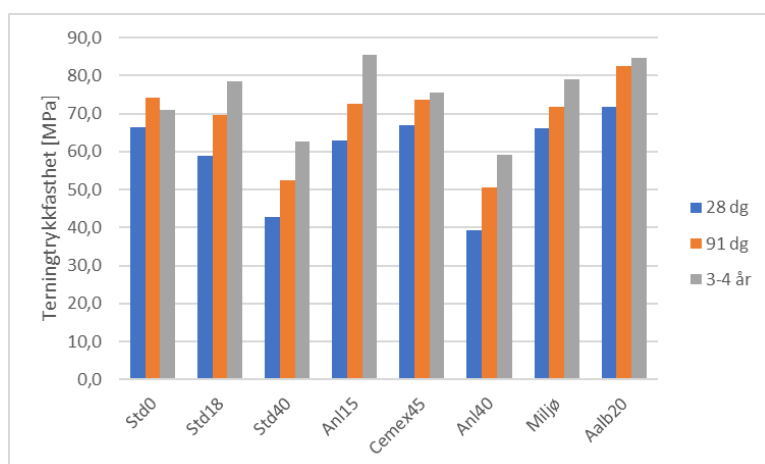
Alle betongene ble dokumentert ved akselerert kloridprøving ved 91 døgns alder, iht. NS-EN 206+NA, med 91 døgns lagring i 6 % NaCl-løsning /3/. I Figur 30 er resultatene fra denne prøvingen sammenstilt med neddykket-resultatene etter 3 og 4 års eksponering. For alle betongene i fase I (eksponert i 4 år) er rangeringen mellom de ulike betongene lik mellom akselerert og naturlig eksponering. Internt i fase II er rangeringen også nokså lik uavhengig av eksponering, men her er 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), så burde det vært omvendt.



FIGUR 30 Kloriddiffusjonskoeffisienter bestemt etter 3 og 4 års eksponering sammenstilt med diffusjonskoeffisienter bestemt etter akselerert laboratorieeksponering i 6 % NaCl-løsning i 91 døgn, fra 91 døgns alder /3/.

7.4 Trykkfasthet

Midlere trykkfasthet bestemt på utborede sylindre (Figur 25) etter 3–4 år er omregnet til terningtrykkfasthet (ved å dividere med et antatt forholdstall på 0,8) og sammenstilt med resultater fra trykkfasthetsresultater bestemt i laboratorium ved 28 og 91 døgn, i Figur 31. Det er god overensstemmelse mellom resultatene for lab- og feltbetong. For alle betongene unntatt Std0 øker fastheten over tid.



FIGUR 31 TRYKKFASTHET ETTER 3 OG 4 ÅRS EKSPONERING (BESTEMT PÅ UTBOREDE SYLINDRE, OMREGNET TIL TERNING VED Å DIVIDERE MED 0,8) SAMMENSTILT MED TRYKKFASTHETER BESTEMT PÅ TERNINGER I LABORATORIUM VED 28 OG 91 DØGNS ALDER /3/.

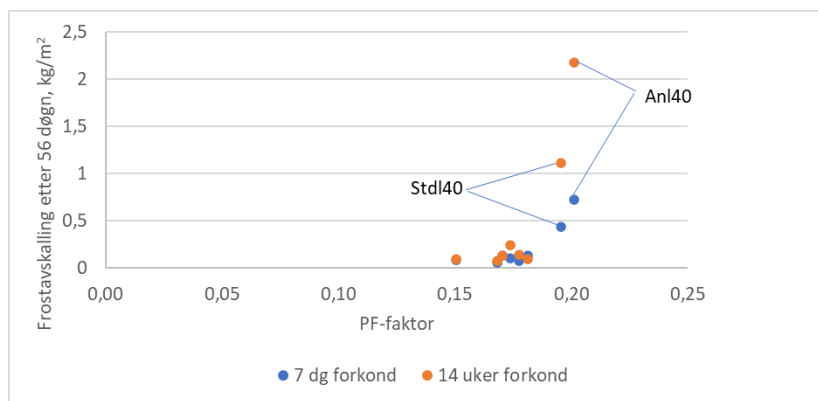
7.5 Porøsitet

Basert på sug- og makroporøsitetene er det beregnet PF-faktorer (PorebeskyttelsesFaktor), se Tabell 15, 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 på 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 tilfredsstilt.

I forbindelse med utstøping av feltelementene ble det støpt ut sylindre for tildanning av prøvestykker for frostprøving iht. to alternative prosedyrer. Prøvestykkene ble tildannet ved ca. 90 døgns alder, for deretter å bli kondisjonert i klimakammer (20 °C og 65 % RF) i enten 7 døgn eller 14 uker. Hvis vi plotter PF-faktor mot oppnådd frostavskalling etter 56 frostsykler, hhv. etter 7 døgn og 14 uker forkondisjonering, se Figur 32, så ser vi at det for disse betongene ikke er noen sammenheng mellom PF-faktor og frostbestandighet. Tvert imot er det de to lavvarmebetongene (Std40 og Anl40) med masseforhold 0,44, som har høyeste PF-faktor og dårligst frostmotstand, ved begge forkondisjoneringsprosedyrer.

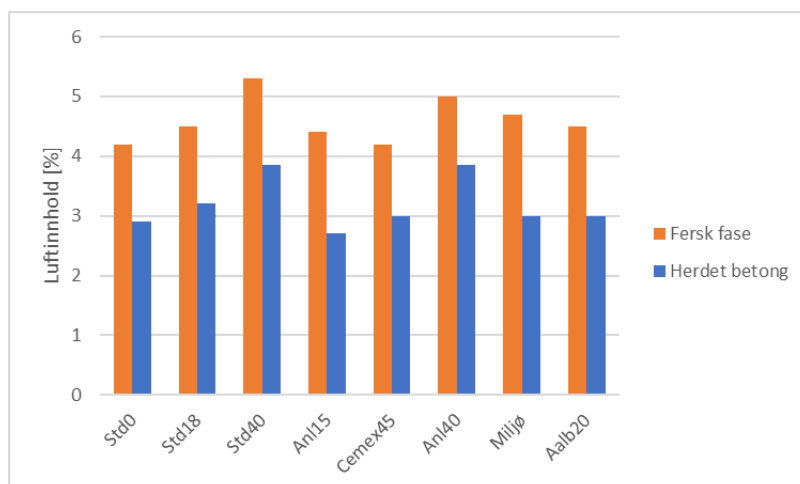
Tabell 15 Beregnede PF-faktorer

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



FIGUR 32 PF-FAKTOR BESTEMT FRA UTBORET BETONG PLOTTET MOT FROSTAVSKALLET MATERIALE FRA FROSTPRØVING AV DE SAMME BETONGER, UTFØRT FRA CA. 90 DØGNS ALDER /3/.

Bestemmelse av porøsitetsverdier i herdet fase er ikke utført tidligere for disse betongene. Betongenes luftinnhold i fersk fase ble imidlertid målt ved utstøping av elementene /3/. I Tabell 16 og Figur 33 er luftinnholdet bestemt i herdet betong (makroporøsiteten) sammenstilt med målt luftinnhold i fersk fase.



FIGUR 33 LUFTINNHold BESTEMT I HERDET BETONG (MAKROPORØSITET) SAMMENSTILT MED LUFTINNHold BESTEMT VED UTSTØPING AV BJELKENE I LABORATORIUM /3/.

Tabell 16 Luftinnhold, målt i hhv. fersk fase /3/ og i herdnet betong

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

Det er også tidligere sett at makroporøsiteten målt ved PF-metoden i herdnet betong er noe lavere enn luftinnholdet målt i fersk fase, men reduksjonen er noe større her. Videre er sugporøsiteten noe høyere enn det vi har sett for tilsvarende betonger tidligere. Det er ikke lagt vekt på å sammenstille og diskutere dette nærmere her.

8 Videre behandling av resultatene

Statens vegvesen har flere pågående prosjekter med langtidseksponering 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 planlagt å gjøre en samlet vurdering av alle foreliggende resultater for betonger innenfor Statens vegvesens kategorier SV-Standard og SV-Lavvarme i løpet av 2025. Resultatene vil være viktig input til det pågående arbeidet med utvikling av nasjonalt regelverk for anvendelse av bestandighetskonseptet i Eurokode 2.

9 Anbefalinger for prøvingsrunde 2

Med bakgrunn i erfaringer fra prøvingsrunde 1 anbefales følgende for prøvingsrunde 2:

- Resultater fra prøvingsrunde 1 har en vist tydelig tendens til at kloriddiffusjonskoeffisientene i tidevannssonen er høyere på NØ-siden enn på SV-siden. Hvorvidt dette er tilfeldig eller et resultat av eksponeringsbetingelsene (vind, ulik skjerming mot sjøsprøyt), bør følges med på i senere prøvingsterminer. Det er derfor viktig at det blir holdt orden på hvilke overflater som er orientert hhv. mot NØ og SV i feltstasjonen, se Figur 1. Dette kan enkelt gjøres ved at alle elementer legges opp på kaia med samme side vendt opp. I prøvingsrunde 1 ble flate mot NØ vendt opp og de gjennomgående borede kjernene merket med hhv. flate mot NØ og flate mot SV, se Figur 14.
- Temperatur er en faktor som har stor påvirkning på betongens spesifikke elektriske motstand. Det bør derfor tilstrebes å unngå at elementene blir liggende (for lenge) i sola før måling av denne parameteren. For å ha litt bedre oversikt over temperaturens

innvirkning, bør en registrere både luft- og betongtemperaturen ved måling av elektrisk motstand i felt.

- Det bør vurderes om neste prøveuttak skal skje fra betongenes element 2 (dvs. element A2–H2). Fordelen med å bore ut fra element 2 er at en da unngår eventuelle uheldige effekter på kloridinntrengingen som følge av håndteringen i runde 1 (oppheising, avskrapning av begroing, rengjøring av overflater og noen dagers luftlagring av elementene), samt at kjernene da kan bores i eksakt samme lokalitet som i runde 1. Dette vil sikre nøyaktig samme eksponeringsbetingelser for prøvingsrunde 2 som for prøver tatt i prøvingsrunde 1. Disse mindre forstyrrelsene i eksponeringsforholdene anses først og fremst å ha mulig relevans tidlig i eksponeringsperioden.

10 Referanser

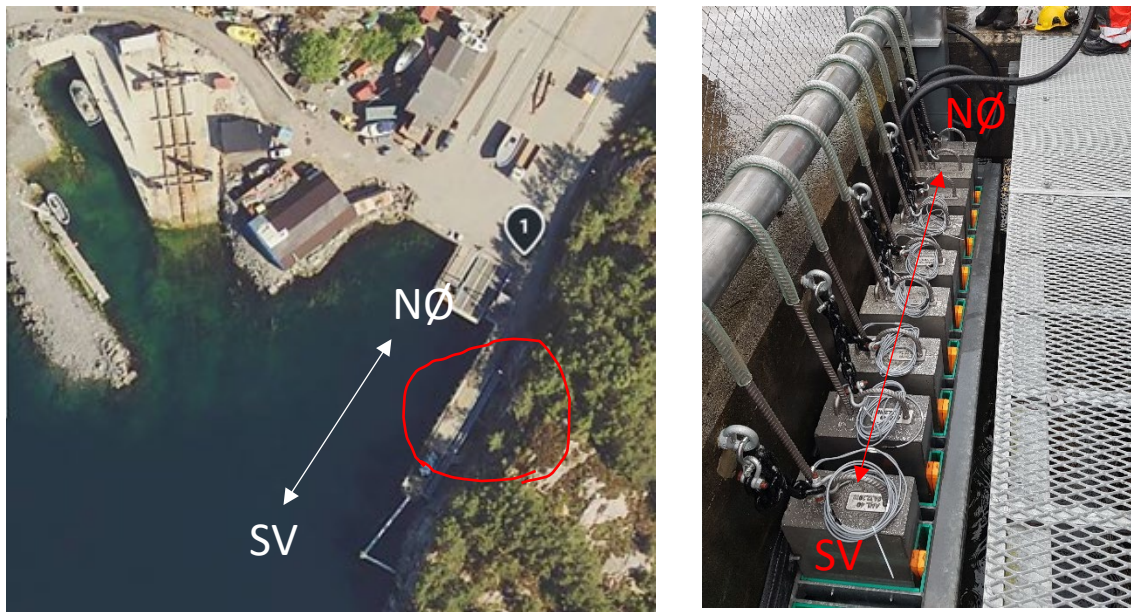
- 1 Pedersen B. og Hornbostel K. (2020).: «Austefjorden feltstasjon – prøving av betong i marint miljø», Statens vegvesen rapport nr. 492.
<https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2647280>
- 2 Hornbostel, K. og Pedersen, B. (2019): «Ikke-instrumenterte og instrumenterte betong-elementer for langtidsprøving. Austefjorden feltstasjon – prøving av betong i marint miljø», Statens vegvesen rapport nr. 494.
<https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2633764>
- 3 Rodum, E. (2021): «Laboratorieprøving av betonger (Fase I og II). Austefjorden feltstasjon – prøving av betong i marint miljø», Statens vegvesen rapport nr. 495.
<https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2791785>
- 4 Hornbostel, K (2019, 2020 og 2021, 2022, 2023): Feltstasjon Austefjorden – datalogging og datainnsamling, årsrapport 20xx. Statens vegvesen notat, mimenr. 20/75881.
- 5 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>
- 6 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, page 1483–1499. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0130-5>
- 7 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.

AUSTEFJORDEN FELTSTASJON – ARBEIDER I UKE 17/2022

I uke 17/2022 (26-28/4) er det planlagt diverse arbeid på elementer i Austefjorden feltstasjon. I det etterfølgende er gitt en beskrivelse av det arbeidet som skal utføres av BMO.

Lokalitet av elementer:

Lokalitet av ferjekai og elementer er vist i Figur 1.



Figur 1 Oversikt Austefjorden ferjekai. Til venstre: Kaien (innringet med rød strek) ligger i retning SV-NØ. Til høyre: Plassering av elementene i rammesystem, med sideflater mot hhv. SV og NØ

I ytre del av rammesystemet er det utplassert elementer støpt med åtte forskjellige resepter merket med inntrykk i betongen A-H og nummer 1-2(3), samt en stålplate med bindemiddeltype og støpedato. Se eksempel på merking i Figur 2.



Figur 2 Eksempel på merking. Inntrykk F3 og bindemiddeltype ANL40, støpt 04.12.2018

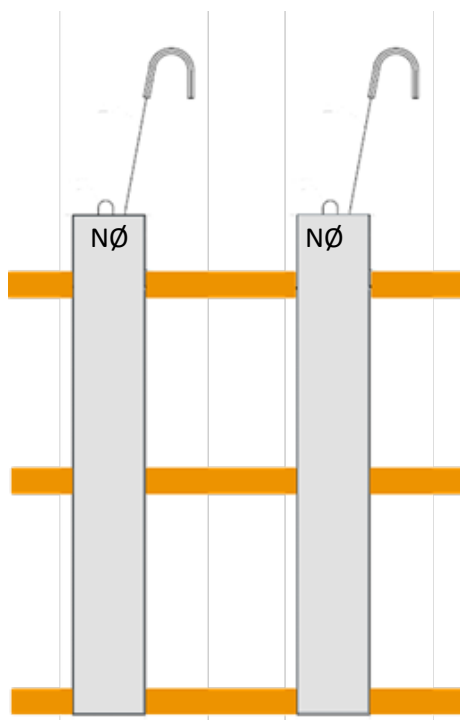
Oppheising og utlegging av elementer på kai:

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 og 1 stk kjerne fra tidevannssone.

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

Etter oppheising skal begroing fjernes fra overflatene med en barkespade e.l. Deretter skal elementene legges på strø (2-3 stk bokser e.l.), på flasken, med hengekroken pekende mot høyre og med avstand slik at det er arbeidsrom mellom elementene, for bl.a. kjerneboring og reparasjon av borhull. Se Figur 3. Akkurat hvor elementene skal legges opp avklares nærmere. Elementene må håndteres med forsiktighet, slik at det ikke oppstår støtskader e.l.



Figur 3 Utlekking av elementer etter oppheising. Elementene legges på flasken med hengekroken pekende mot høyre, dvs. med elementflate mot nord-øst vendt opp

Statens vegvesens folk skal etter rensk og opplegging av elementene foreta diverse målinger på elementene, samt merke av for kjerneboring m.m.

Utboring av kjerner:

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

Det skal bores 2 stk gjennomgående kjerner (med lengde 190 mm) pr. element, 1 stk ca. midt i bjelken og 1 stk nær bunn av bjelken. *Nøyaktig lokalitet av kjernene anvises av Statens vegvesen.*

Det benyttes kun ferskvann til kjøling av bormaskin.

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

Merking, pakking og forsendelse av kjerner:

Umiddelbart etter utboring *skal kjernene tørkes av, merkes og pakkes inn i plast. Dette utføres av Statens vegvesen.*

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

Når alle 16 kjerner er boret ut (total vekt ca. 35 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.

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!

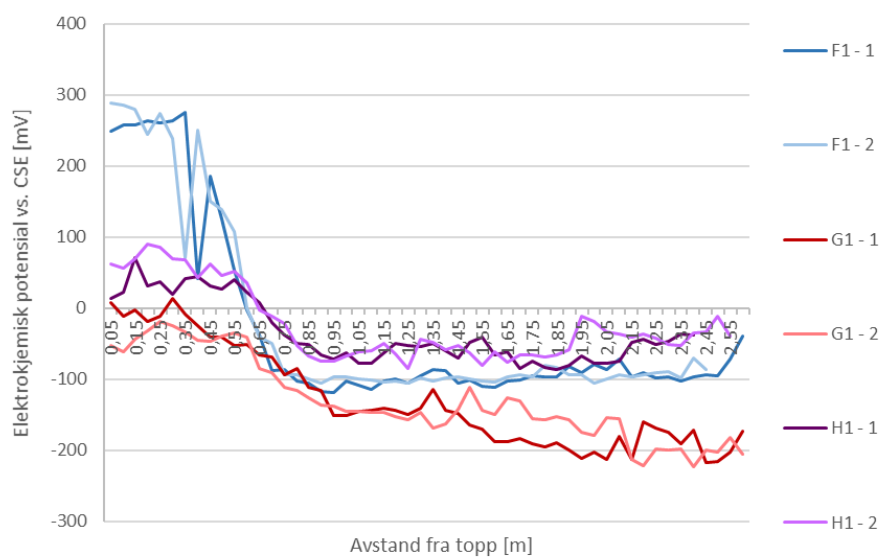
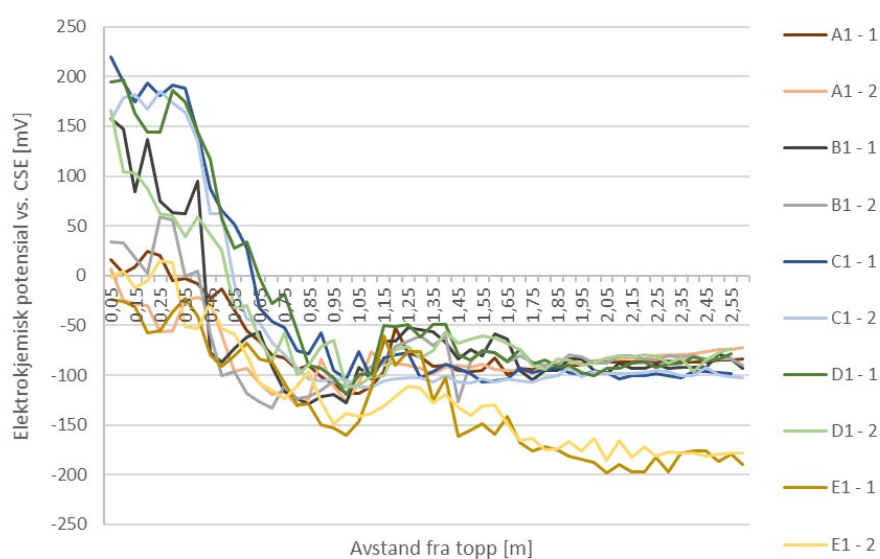
Reparasjonsmørtelen skal herde 1-2 døgn før elementene plasseres ut igjen i rammesystemet. Før utplassering skal det kontrolleres at reparasjonsmørtelen har blitt godt utstøpt også på undersiden av elementet, og at det ikke er søl av reparasjonsmaterialer på overflatene. Reparerte områder skal fotograferes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

07.04.2022

A Vedlegg 2 – Resultater fra elektrokjemisk potensial (EKP) målinger

	A1	A1	B1	B1	C1	C1	D1	D1	E1	E1	F1	F1	G1	G1	H1	H1
Avstand fra topp [m]	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
0,05	16	7	158	34	220	156	195	166	-24	-2	249	289	8	-53	14	62
0,10	2	-25	147	33	195	179	197	104	-26	4	257	286	-12	-62	23	57
0,15	9	-28	84	18	175	182	163	103	-31	-12	258	279	-3	-43	71	69
0,20	24	-30	137	2	194	167	144	87	-57	-5	263	244	-18	-32	31	90
0,25	20	-56	75	59	181	185	144	62	-55	15	261	274	-12	-18	37	85
0,30	-5	-55	63	56	191	174	186	60	-36	13	263	239	13	-24	20	69
0,35	-3	-25	62	-1	188	164	175	39	-23	-51	275	71	-8	-34	41	68
0,40	-8	-22	95	5	143	136	144	59	-41	-53	41	250	-24	-45	45	43
0,45	-23	-27	-77	-58	87	62	117	41	-80	-27	186	150	-40	-47	32	62
0,50	-13	-60	-87	-101	65	62	57	25	-91	-53	125	138	-40	-39	27	46
0,55	-34	-96	-73	-96	52	-8	28	-32	-81	-59	53	107	-52	-35	40	52
0,60	-55	-93	-62	-118	28	-44	34	-30	-68	-81	-2	0	-51	-40	22	36
0,65	-66	-108	-56	-127	-32	-47	-2	-64	-84	-108	-38	-40	-65	-85	8	-3
0,70	-80	-119	-91	-133	-46	-67	-28	-86	-87	-115	-88	-50	-68	-91	-20	-11
0,75	-83	-116	-116	-110	-52	-80	-19	-57	-108	-124	-87	-94	-93	-111	-38	-22
0,80	-94	-131	-124	-124	-75	-92	-55	-99	-130	-111	-103	-94	-85	-115	-49	-52
0,85	-90	-124	-129	-121	-78	-104	-90	-90	-129	-96	-106	-100	-111	-126	-51	-67
0,90	-102	-84	-121	-115	-57	-106	-93	-71	-150	-127	-117	-105	-115	-136	-65	-75
0,95	-109	-111	-119	-106	-95	-104	-103	-65	-153	-149	-119	-96	-151	-138	-72	-74
1,00	-118	-127	-128	-112	-104	-105	-119	-112	-160	-138	-103	-96	-151	-145	-63	-67
1,05	-118	-108	-92	-100	-76	-112	-99	-110	-147	-141	-109	-100	-145	-145	-78	-62
1,10	-111	-76	-104	-91	-104	-112	-98	-102	-113	-138	-114	-101	-143	-146	-78	-60
1,15	-96	-90	-66	-87	-83	-106	-50	-101	-61	-131	-102	-104	-141	-146	-63	-49
1,20	-52	-88	-66	-71	-79	-104	-51	-74	-90	-121	-99	-102	-144	-153	-50	-64
1,25	-77	-90	-52	-66	-77	-103	-49	-71	-76	-111	-105	-105	-150	-157	-52	-85
1,30	-82	-93	-54	-61	-103	-103	-62	-83	-76	-113	-95	-98	-140	-147	-54	-43
1,35	-91	-98	-56	-70	-96	-107	-49	-75	-126	-128	-86	-102	-114	-168	-49	-48
1,40	-90	-92	-67	-61	-89	-100	-49	-56	-103	-119	-88	-98	-144	-163	-60	-59
1,45	-95	-90	-84	-127	-93	-107	-80	-68	-161	-132	-105	-96	-148	-142	-70	-53
1,50	-96	-92	-74	-86	-98	-108	-85	-64	-155	-140	-101	-99	-164	-111	-48	-63
1,55	-95	-89	-81	-75	-107	-104	-75	-61	-149	-131	-110	-102	-170	-143	-40	-80
1,60	-83	-94	-58	-77	-106	-107	-77	-63	-159	-130	-111	-104	-187	-150	-65	-61
1,65	-99	-95	-64	-87	-104	-104	-86	-68	-141	-149	-102	-97	-187	-126	-61	-76
1,70	-93	-95	-95	-81	-93	-106	-74	-74	-168	-166	-101	-94	-184	-131	-85	-65
1,75	-94	-97	-105	-87	-97	-107	-89	-90	-176	-164	-95	-97	-191	-155	-75	-65
1,80	-93	-90	-95	-90	-94	-103	-85	-94	-172	-175	-97	-81	-195	-157	-84	-69
1,85	-94	-88	-95	-90	-92	-100	-91	-84	-175	-174	-97	-84	-189	-152	-86	-66
1,90	-90	-88	-84	-79	-97	-92	-90	-85	-181	-167	-82	-94	-200	-157	-81	-59
1,95	-90	-87	-84	-82	-99	-102	-97	-90	-184	-176	-90	-94	-211	-174	-67	-12
2,00	-86	-86	-95	-88	-96	-96	-100	-88	-188	-163	-79	-105	-202	-179	-77	-18

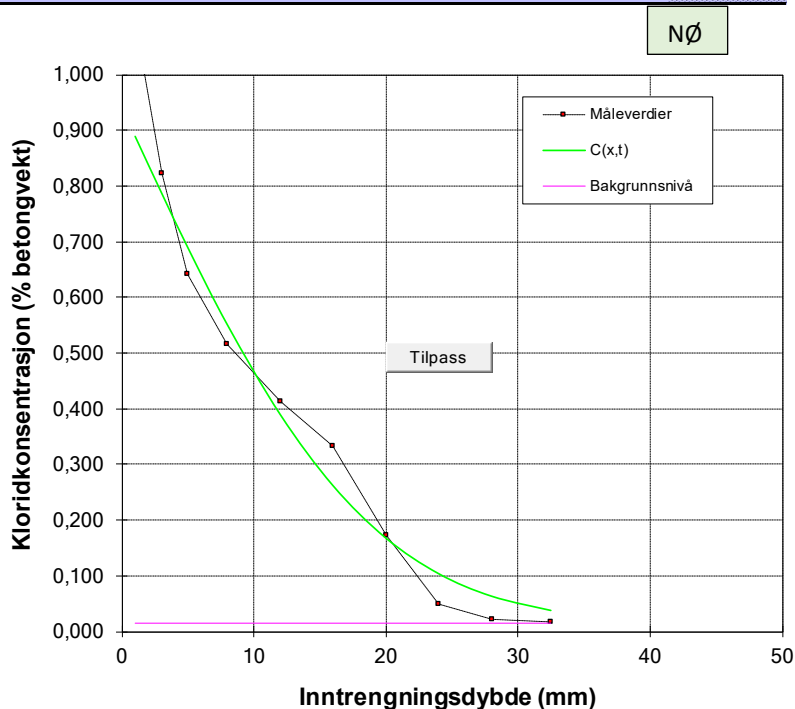
2,05	-87	-84	-98	-88	-97	-98	-93	-83	-198	-186	-87	-100	-213	-154	-78	-33
2,10	-87	-84	-88	-81	-104	-98	-93	-81	-190	-166	-72	-94	-181	-156	-75	-36
2,15	-87	-83	-93	-81	-100	-98	-88	-82	-197	-182	-97	-97	-213	-213	-48	-41
2,20	-85	-84	-93	-84	-101	-97	-87	-79	-197	-172	-90	-94	-160	-222	-44	-36
2,25	-87	-81	-89	-85	-98	-95	-92	-81	-182	-181	-98	-90	-168	-198	-51	-42
2,30	-86	-79	-93	-81	-101	-96	-89	-88	-197	-177	-97	-89	-174	-199	-47	-51
2,35	-87	-79	-92	-82	-103	-100	-88	-83	-178	-178	-103	-98	-191	-198	-36	-53
2,40	-87	-78	-92	-81	-96	-101	-82	-96	-176	-178	-96	-70	-171	-223	-38	-35
2,45	-87	-76	-92	-84	-96	-92	-86	-85	-176	-181	-93	-86	-217	-200		-33
2,50	-85	-74	-78	-84	-97	-99	-84	-77	-187	-179	-95		-215	-202		-12
2,55	-85	-74	-84	-84	-98	-102	-78	-73	-179	-178	-71		-203	-182		-39
2,60	-84	-72	-93	-90		-103			-190	-178	-39		-173	-205		



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std0 **Profil** 1A-T (A1-M) © 2012-01-09 ss

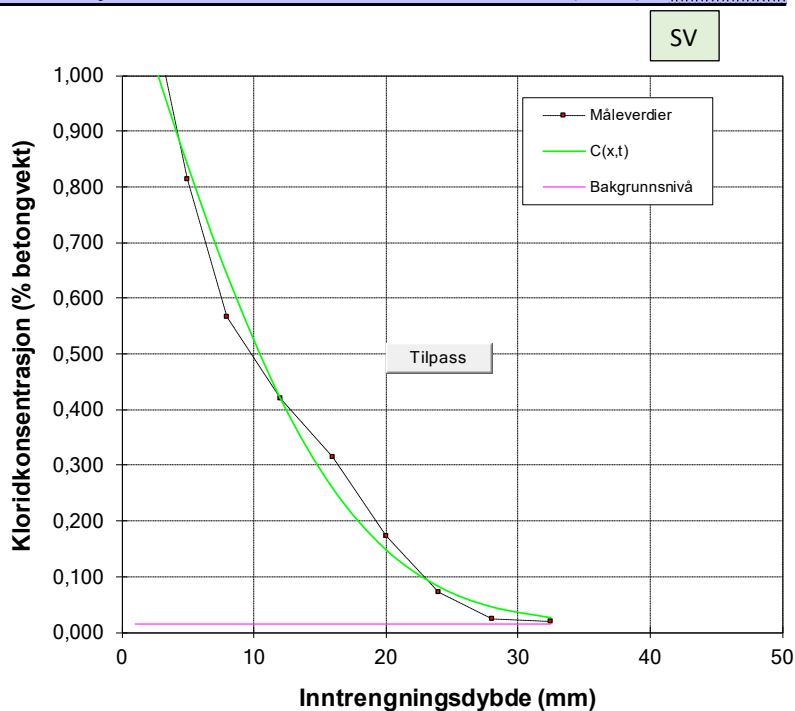
Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,939	% betong
D	0,77	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9892	
Inntrengning	299,8	g/m^2
k (0.1 %)	11,8	mm

x	målt	status
1	1,098	
3	0,822	ok
5	0,643	ok
8	0,516	ok
12	0,414	ok
16	0,334	ok
20	0,172	ok
24	0,050	ok
28	0,021	ok
32,5	0,017	ok


Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std0 **Profil** 1A-B(A1-M) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,204	% betong
D	0,59	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9938	
Inntrengning	350,5	g/m^2
k (0.1 %)	11,1	mm

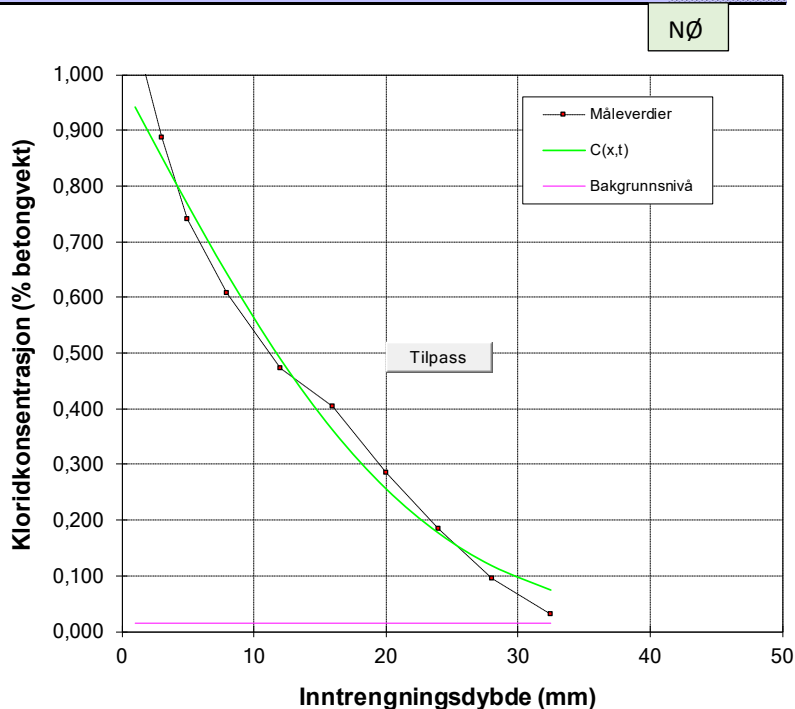
x	målt	status
1	1,392	
3	1,031	ok
5	0,814	ok
8	0,567	ok
12	0,420	ok
16	0,315	ok
20	0,172	ok
24	0,072	ok
28	0,025	ok
32,5	0,019	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std0 **Profil** 1B-T(A1-B) © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,985	% betong
D	1,12	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9941	
Inntrengning	359,1	g/m^2
k (0.1 %)	14,4	mm

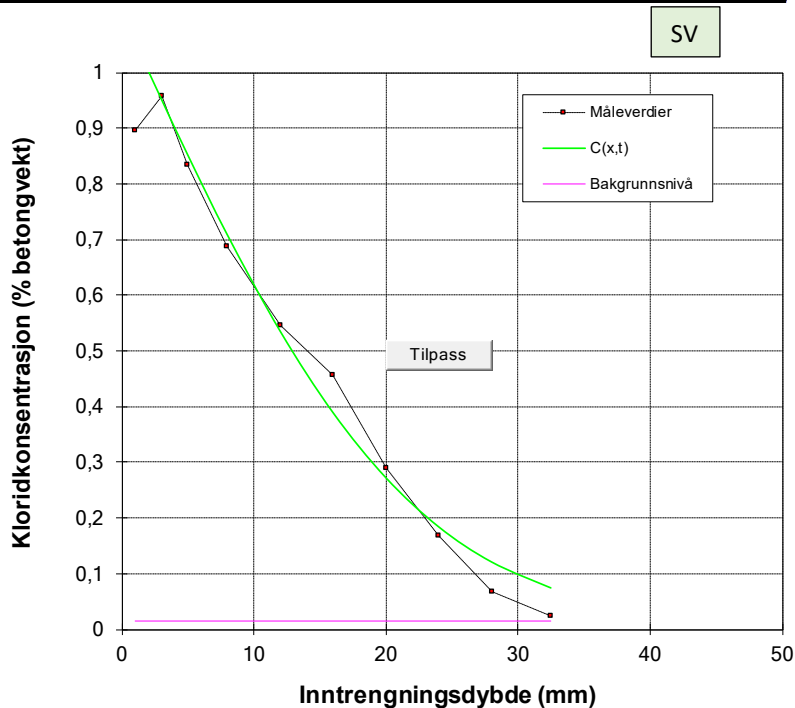
x	målt	status
1	1,072	
3	0,886	ok
5	0,740	ok
8	0,607	ok
12	0,473	ok
16	0,403	ok
20	0,284	ok
24	0,185	ok
28	0,095	ok
32,5	0,030	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std0 **Profil** 1B-B(A1-B) © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,106	% betong
D	1,06	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9943	
Inntrengning	372,9	g/m^2
k (0.1 %)	14,4	mm

x	målt	status
1	0,895	
3	0,957	ok
5	0,833	ok
8	0,687	ok
12	0,546	ok
16	0,456	ok
20	0,290	ok
24	0,169	ok
28	0,068	ok
32,5	0,024	ok

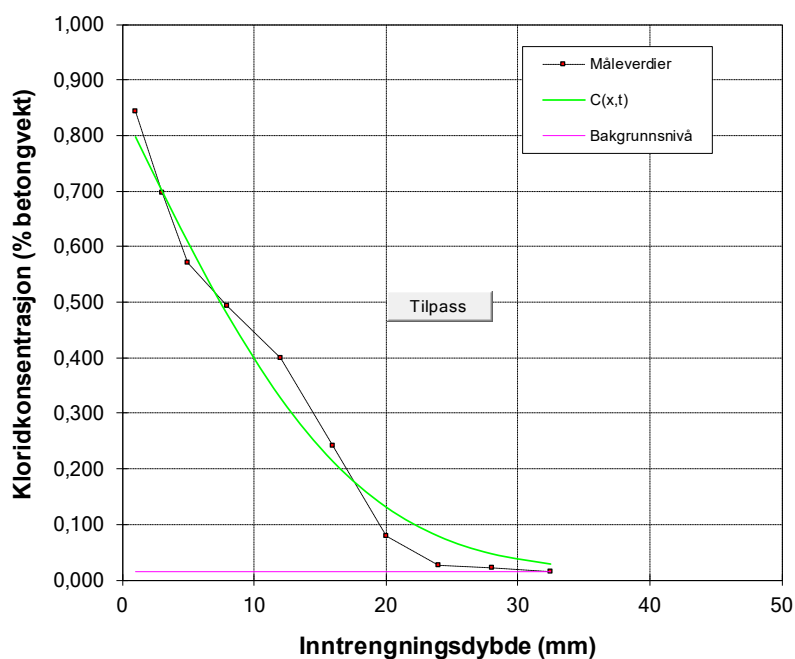


Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std18 **Profil** 2A-T(B1-M) © 2012-01-09 ss

NØ

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,848	% betong
D	0,69	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9887	
Inntrengning	246,1	g/m^2
k (0.1 %)	10,8	mm

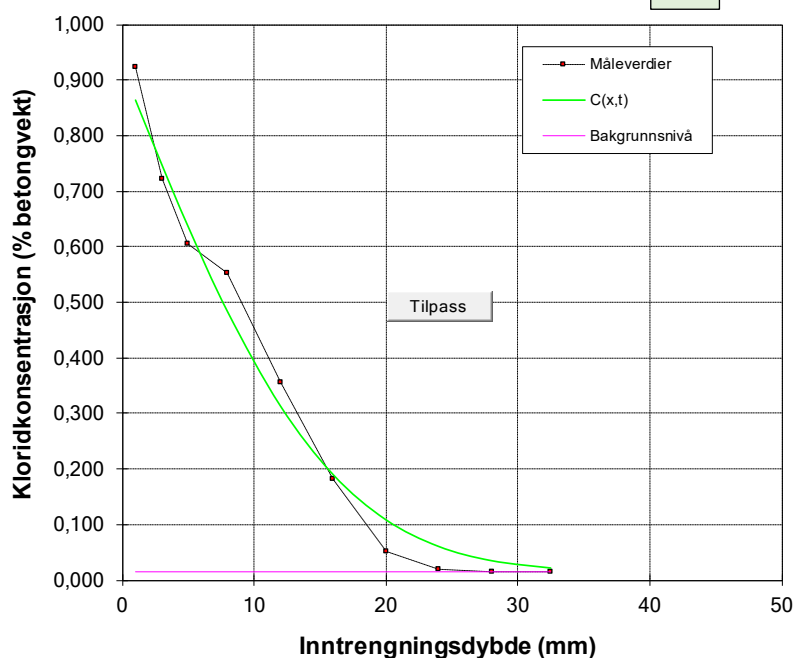
x	målt	status
1	0,844	
3	0,697	ok
5	0,571	ok
8	0,494	ok
12	0,400	ok
16	0,241	ok
20	0,079	ok
24	0,027	ok
28	0,021	ok
32,5	0,014	ok


Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std18 **Profil** 2A-B(B1-M) © 2012-01-09 ss

SV

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,922	% betong
D	0,57	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9904	
Inntrengning	247,1	g/m^2
k (0.1 %)	10,0	mm

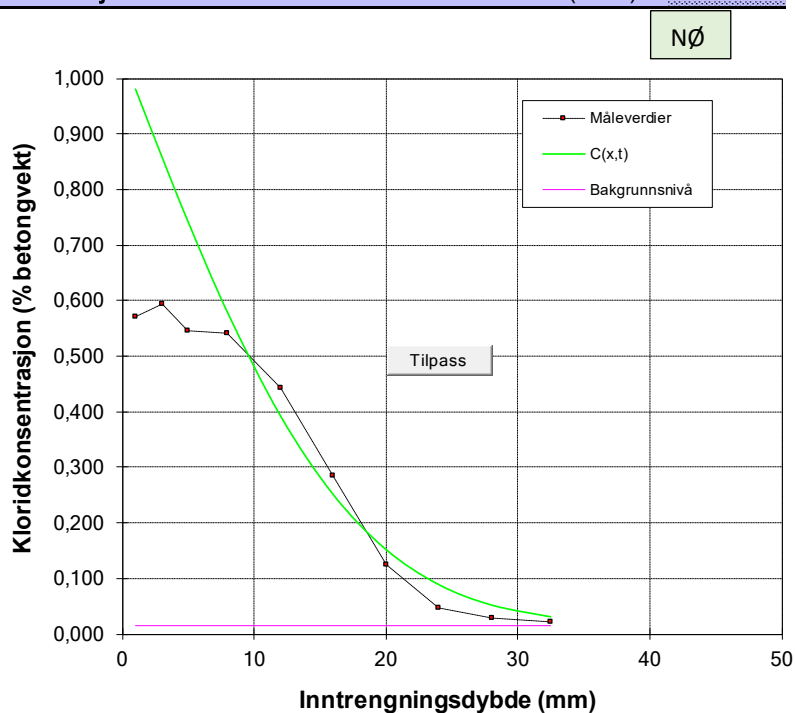
x	målt	status
1	0,923	
3	0,723	ok
5	0,605	ok
8	0,552	ok
12	0,356	ok
16	0,182	ok
20	0,051	ok
24	0,020	ok
28	0,015	ok
32,5	0,014	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std18 **Profil** 2B-T(B1-B) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,041	% betong
D	0,66	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9860	
Inntrengning	238,9	g/m^2
k (0.1 %)	11,2	mm

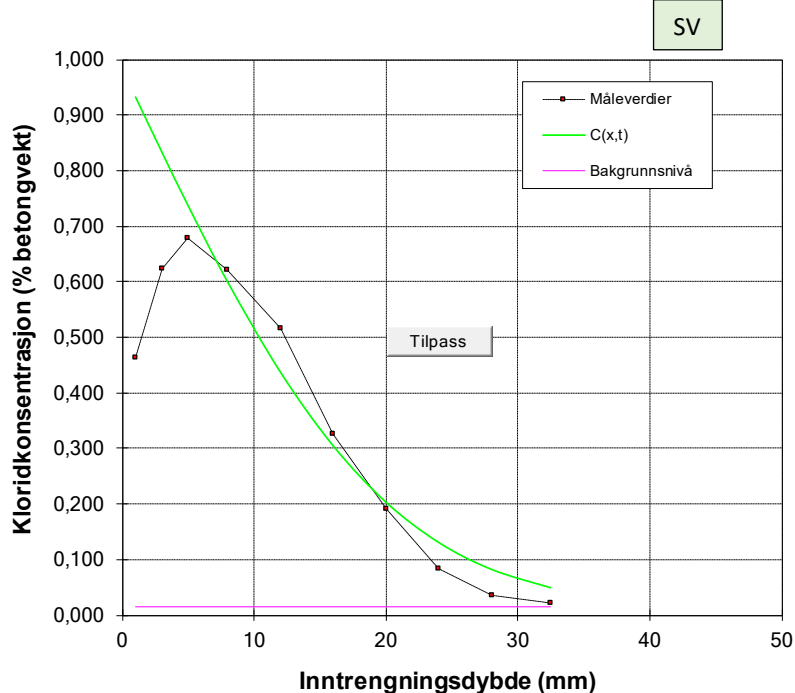
x	målt	status
1	0,572	
3	0,594	
5	0,545	
8	0,541	ok
12	0,443	ok
16	0,286	ok
20	0,125	ok
24	0,046	ok
28	0,029	ok
32,5	0,022	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std18 **Profil** 2B-B(B1-B) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,982	% betong
D	0,89	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9855	
Inntrengning	270,9	g/m^2
k (0.1 %)	12,8	mm

x	målt	status
1	0,464	
3	0,624	
5	0,679	ok
8	0,621	ok
12	0,517	ok
16	0,325	ok
20	0,190	ok
24	0,084	ok
28	0,035	ok
32,5	0,021	ok

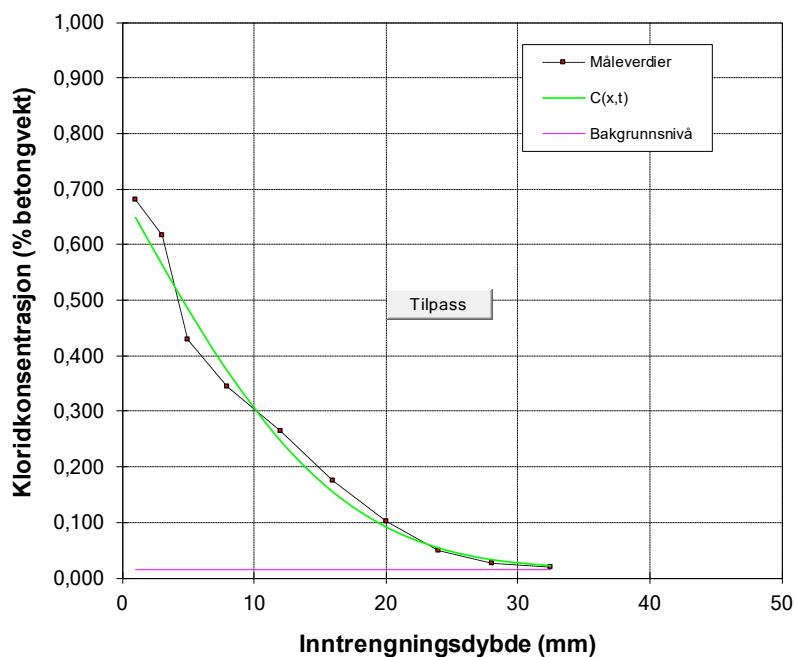


Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std40 **Profil** 3A-T(C1-M) © 2012-01-09 ss

NØ

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,692	% betong
D	0,60	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9894	
Inntrengning	191,8	g/m^2
k (0.1 %)	9,4	mm

x	målt	status
1	0,680	
3	0,617	ok
5	0,430	ok
8	0,344	ok
12	0,265	ok
16	0,174	ok
20	0,101	ok
24	0,049	ok
28	0,027	ok
32,5	0,019	ok

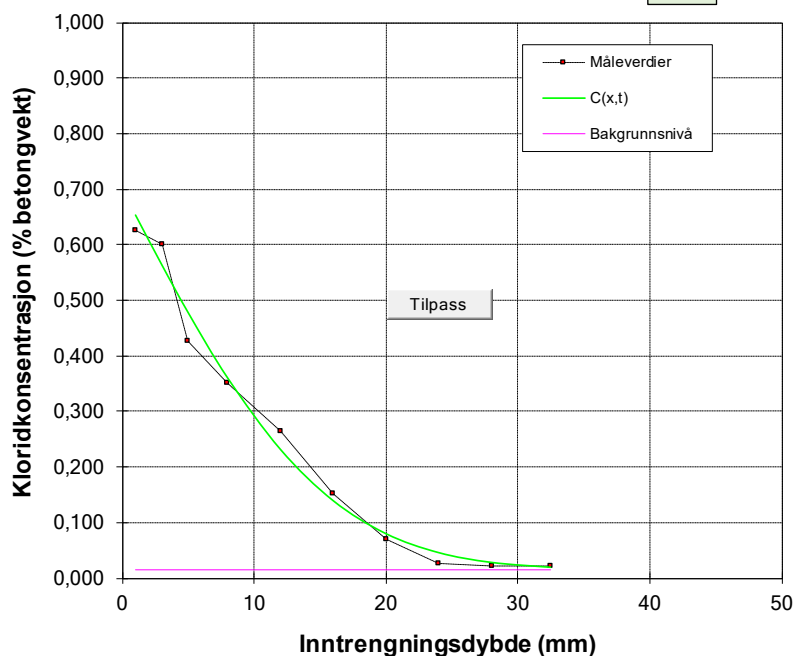


Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std40 **Profil** 3A-B(C1-M) © 2012-01-09 ss

SV

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,700	% betong
D	0,54	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9916	
Inntrengning	179,7	g/m^2
k (0.1 %)	8,9	mm

x	målt	status
1	0,627	
3	0,601	ok
5	0,426	ok
8	0,351	ok
12	0,265	ok
16	0,152	ok
20	0,069	ok
24	0,027	ok
28	0,021	ok
32,5	0,021	ok

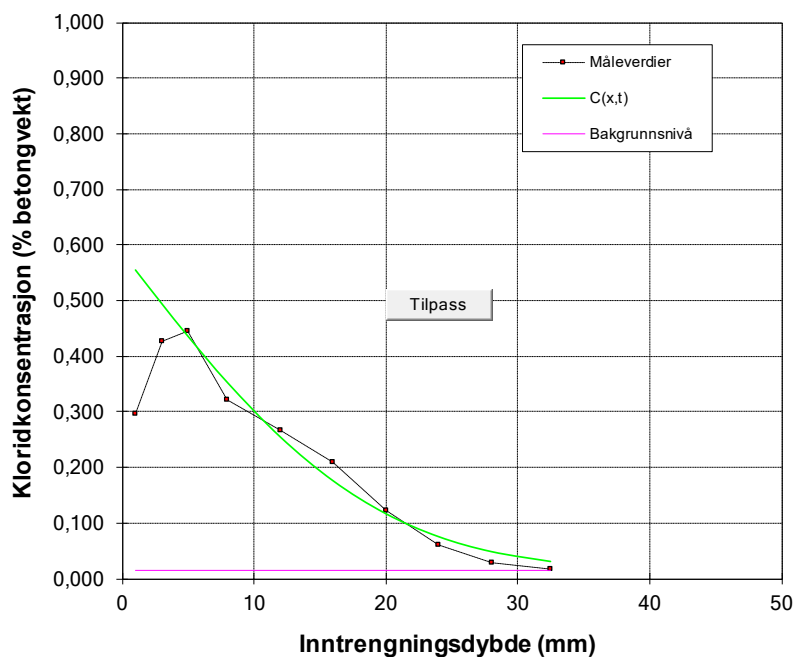


Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std40 **Profil** 3B-T(C1-B) © 2012-01-09 ss

NØ

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,586	% betong
D	0,83	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9911	
Inntrengning	159,7	g/m^2
k (0.1 %)	10,5	mm

x	målt	status
1	0,296	
3	0,427	
5	0,446	ok
8	0,322	ok
12	0,266	ok
16	0,209	ok
20	0,122	ok
24	0,060	ok
28	0,028	ok
32,5	0,018	ok

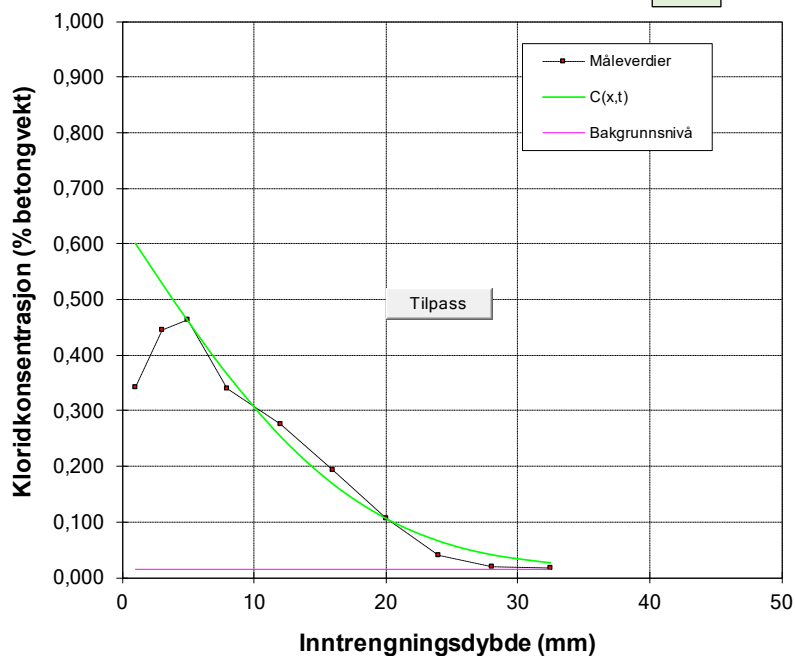


Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Std40 **Profil** 3B-B(C1-B) © 2012-01-09 ss

SV

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,636	% betong
D	0,71	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9931	
Inntrengning	162,2	g/m^2
k (0.1 %)	10,0	mm

x	målt	status
1	0,342	
3	0,445	
5	0,464	ok
8	0,340	ok
12	0,275	ok
16	0,194	ok
20	0,106	ok
24	0,041	ok
28	0,019	ok
32,5	0,017	ok

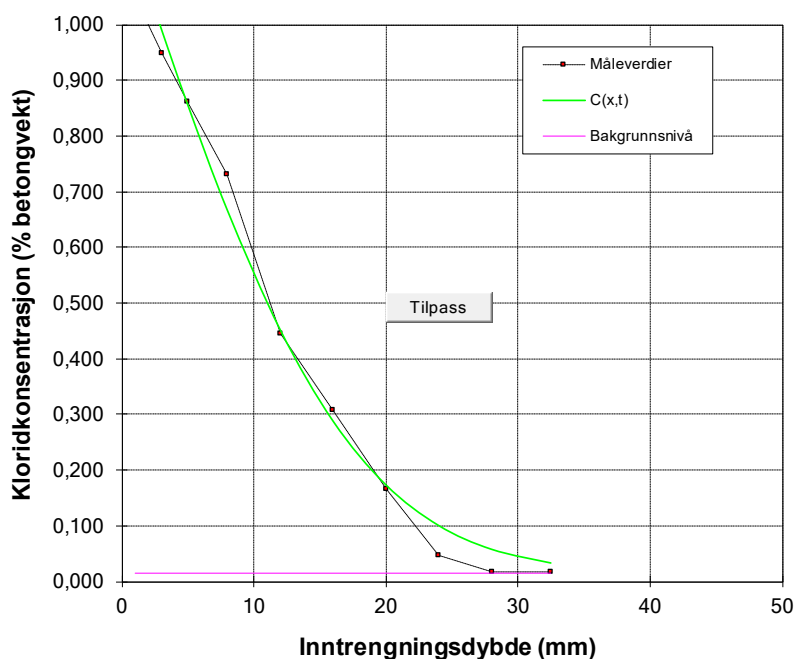


Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Anl15 **Profil** 4A-T(D1-M) © 2012-01-09 ss

NØ

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,204	% betong
D	0,66	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9956	
Inntrengning	337,5	g/m^2
k (0.1 %)	11,7	mm

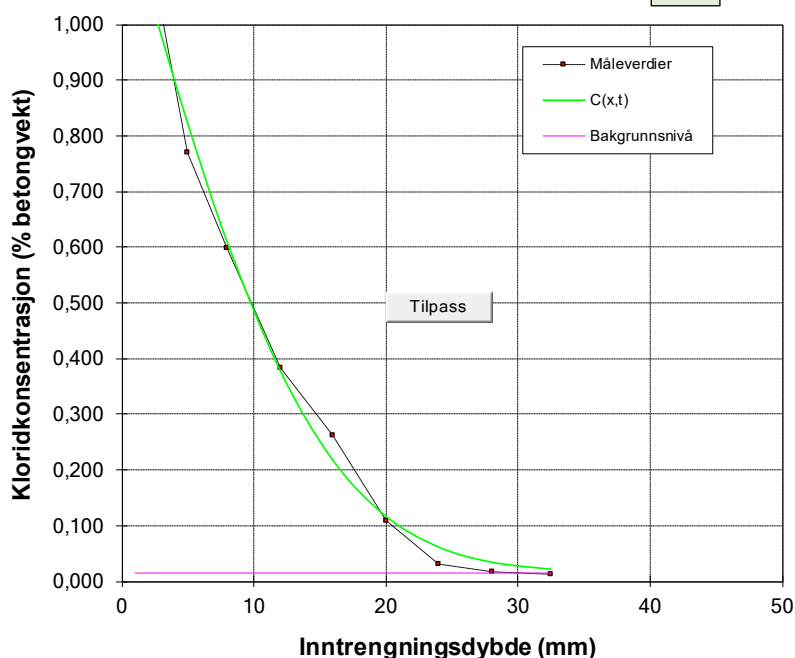
x	målt	status
1	1,049	
3	0,949	ok
5	0,861	ok
8	0,730	ok
12	0,446	ok
16	0,307	ok
20	0,167	ok
24	0,047	ok
28	0,017	ok
32,5	0,017	ok


Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Anl15 **Profil** 4A-B(D1-M) © 2012-01-09 ss

SV

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,226	% betong
D	0,50	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9966	
Inntrengning	314,5	g/m^2
k (0.1 %)	10,2	mm

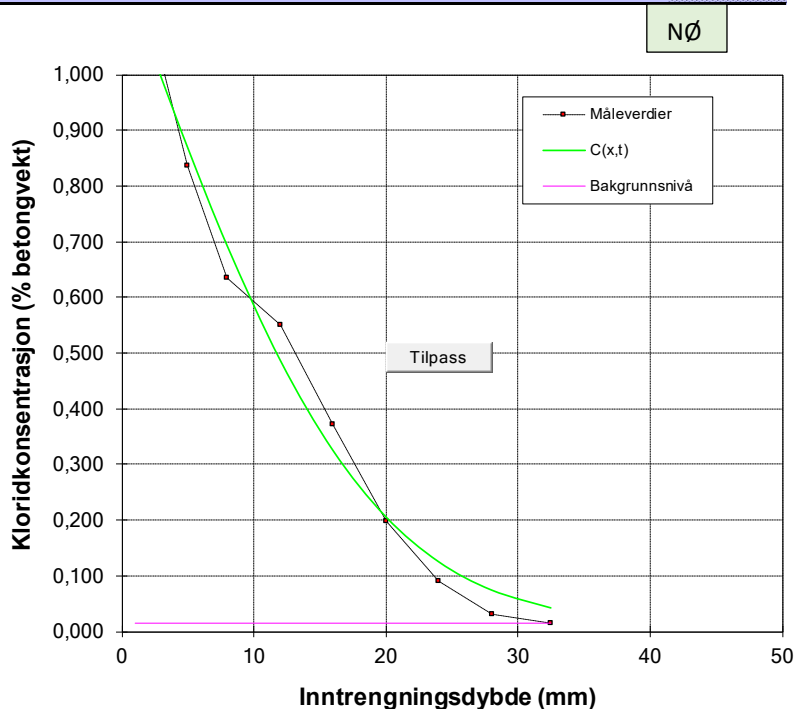
x	målt	status
1	1,183	
3	1,016	ok
5	0,769	ok
8	0,599	ok
12	0,384	ok
16	0,261	ok
20	0,108	ok
24	0,030	ok
28	0,017	ok
32,5	0,012	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Anl15 **Profil** 4B-T(D1-B) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,187	% betong
D	0,77	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9935	
Inntrengning	358,8	g/m^2
k (0.1 %)	12,5	mm

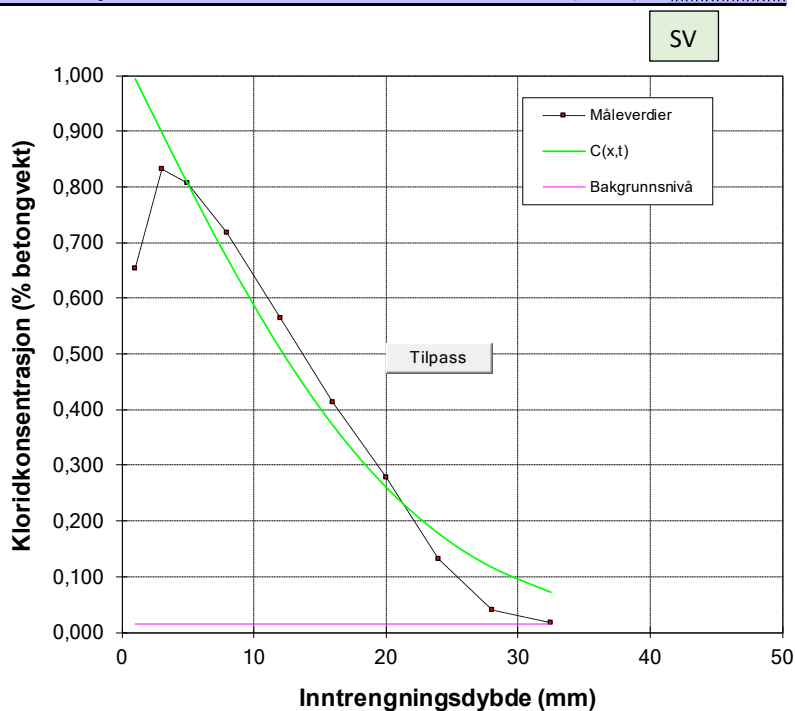
x	målt	status
1	1,093	
3	1,019	ok
5	0,837	ok
8	0,636	ok
12	0,550	ok
16	0,372	ok
20	0,199	ok
24	0,090	ok
28	0,030	ok
32,5	0,015	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Anl15 **Profil** 4B-B(D1-B) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,043	% betong
D	1,08	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9875	
Inntrengning	340,2	g/m^2
k (0.1 %)	14,3	mm

x	målt	status
1	0,654	
3	0,832	ok
5	0,806	ok
8	0,717	ok
12	0,565	ok
16	0,414	ok
20	0,279	ok
24	0,132	ok
28	0,039	ok
32,5	0,017	ok

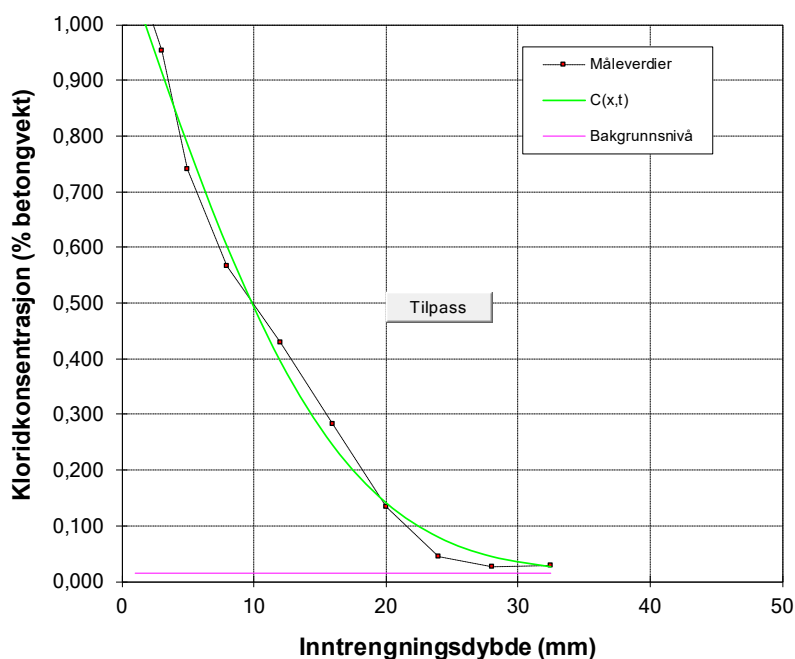


Beregning av C_0 og D Prosjekt: CEMEX45 Profil 5A-T(E1-M) © 2012-01-09 ss

NØ

Eksponert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,124	% betong
D	0,60	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9955	
Inntrengning	311,6	g/m^2
k (0.1 %)	10,9	mm

x	målt	status
1	1,098	
3	0,954	ok
5	0,741	ok
8	0,567	ok
12	0,429	ok
16	0,282	ok
20	0,133	ok
24	0,045	ok
28	0,027	ok
32,5	0,028	ok

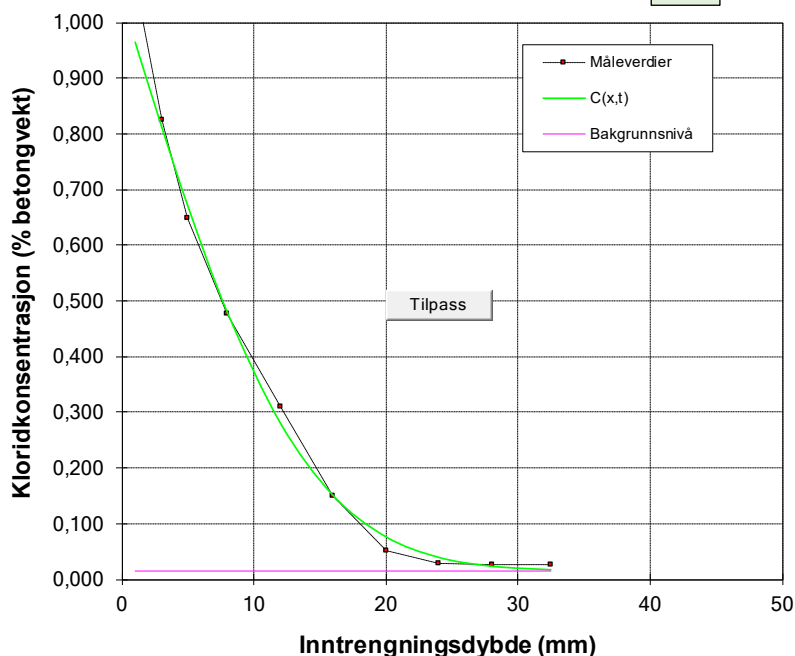


Beregning av C_0 og D Prosjekt: CEMEX45 Profil 5A-B(E1-M) © 2012-01-09 ss

SV

Eksponert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,041	% betong
D	0,42	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9984	
Inntrengning	254,4	g/m^2
k (0.1 %)	8,9	mm

x	målt	status
1	1,074	
3	0,825	ok
5	0,648	ok
8	0,477	ok
12	0,309	ok
16	0,150	ok
20	0,051	ok
24	0,029	ok
28	0,027	ok
32,5	0,027	ok

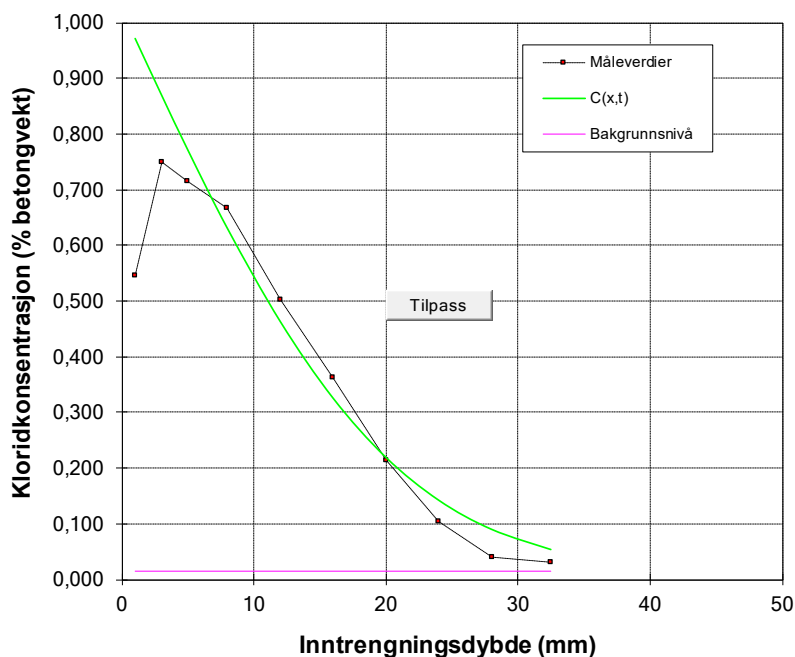


Beregning av C_0 og D Prosjekt: CEMEX45 Profil 5B-T(E1-B) © 2012-01-09 ss

NØ

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,022	% betong
D	0,92	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9900	
Inntrengning	297,4	g/m^2
k (0.1 %)	13,2	mm

x	målt	status
1	0,546	
3	0,750	
5	0,716	ok
8	0,666	ok
12	0,502	ok
16	0,362	ok
20	0,215	ok
24	0,104	ok
28	0,040	ok
32,5	0,030	ok

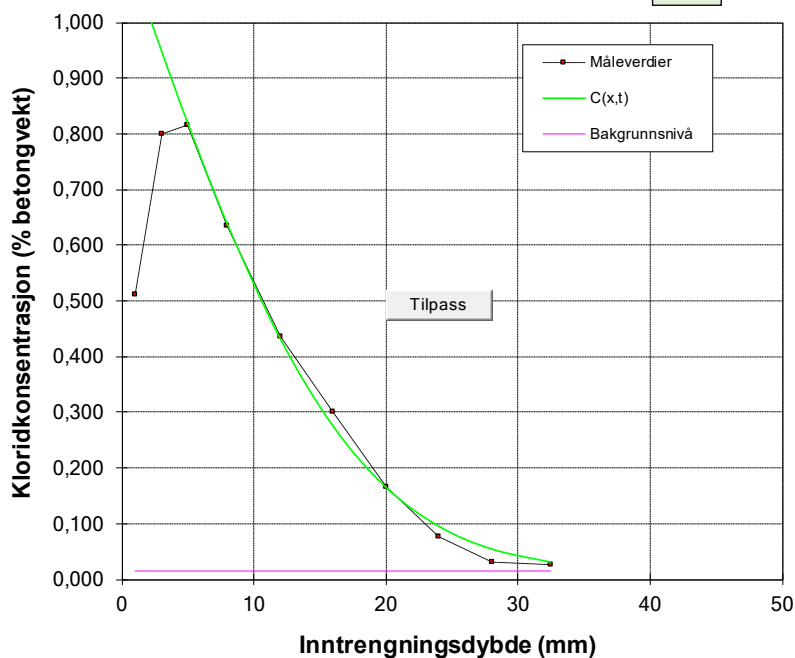


Beregning av C_0 og D Prosjekt: CEMEX45 Profil 5B-B(E1-B) © 2012-01-09 ss

SV

Ekspontert tid	37104	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,152	% betong
D	0,66	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9988	
Inntrengning	281,2	g/m^2
k (0.1 %)	11,5	mm

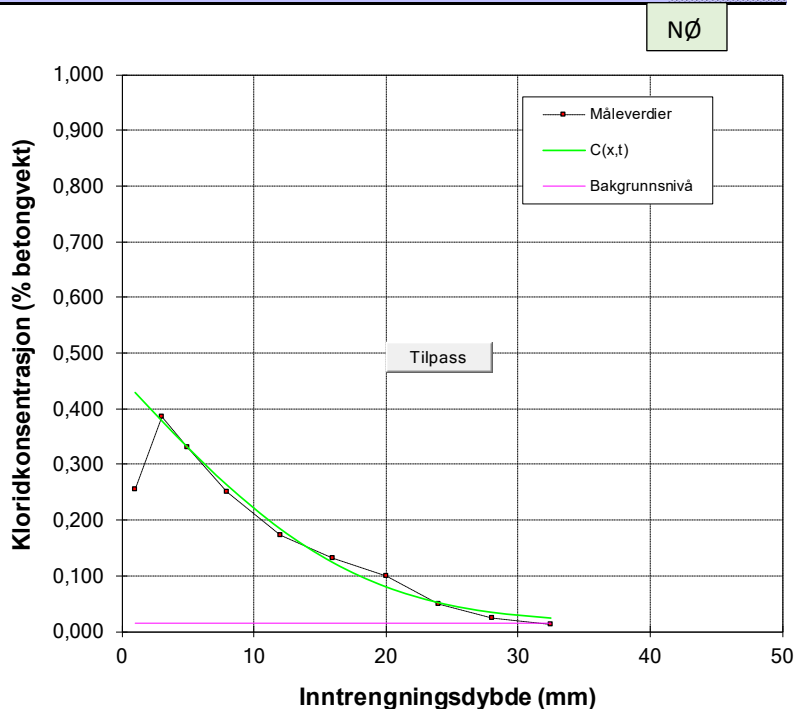
x	målt	status
1	0,511	
3	0,799	
5	0,815	ok
8	0,634	ok
12	0,437	ok
16	0,300	ok
20	0,166	ok
24	0,076	ok
28	0,030	ok
32,5	0,026	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Anl40 Profil 6A-T(F1-M) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,455	% betong
D	0,96	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9964	
Inntrengning	119,6	g/m^2
k (0.1 %)	10,1	mm

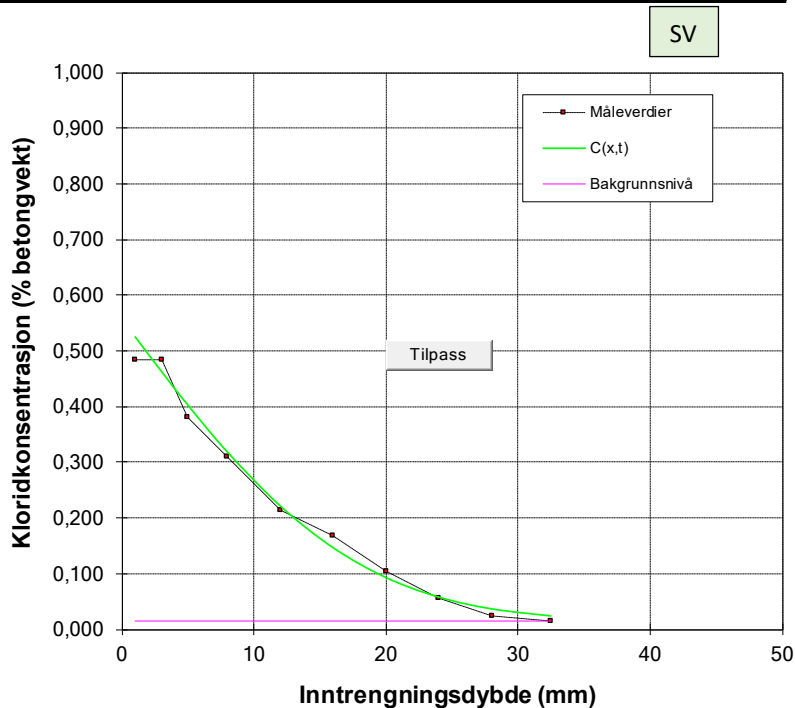
x	målt	status
1	0,255	
3	0,386	ok
5	0,331	ok
8	0,250	ok
12	0,172	ok
16	0,132	ok
20	0,100	ok
24	0,049	ok
28	0,023	ok
32,5	0,012	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Anl40 Profil 6A-B(F1-M) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,558	% betong
D	0,95	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9958	
Inntrengning	159,3	g/m^2
k (0.1 %)	11,0	mm

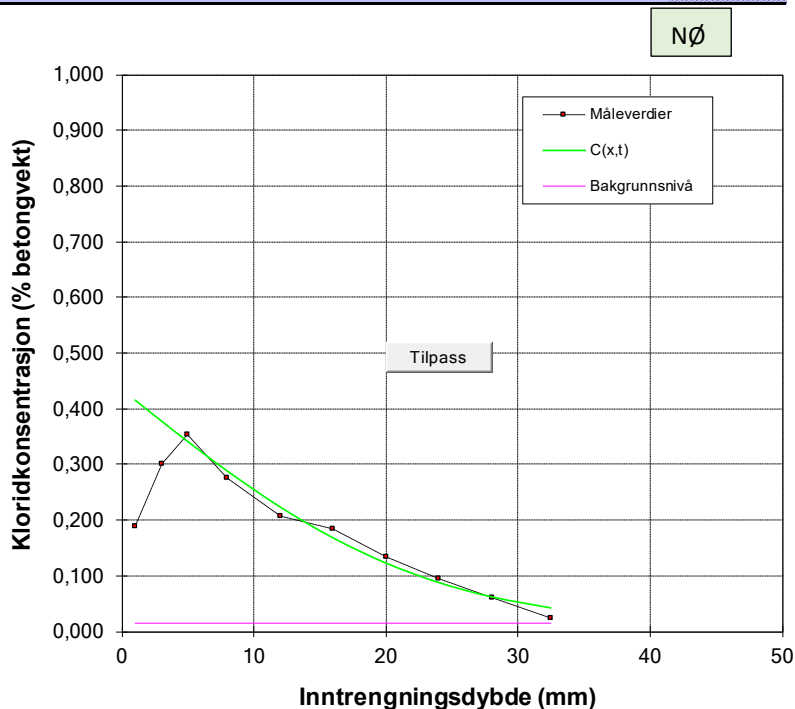
x	målt	status
1	0,485	
3	0,485	ok
5	0,381	ok
8	0,311	ok
12	0,215	ok
16	0,168	ok
20	0,104	ok
24	0,056	ok
28	0,023	ok
32,5	0,015	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Anl40 **Profil** 6B-T(F1-B) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,435	% betong
D	1,58	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9921	
Inntrengning	133,3	g/m^2
k (0.1 %)	12,7	mm

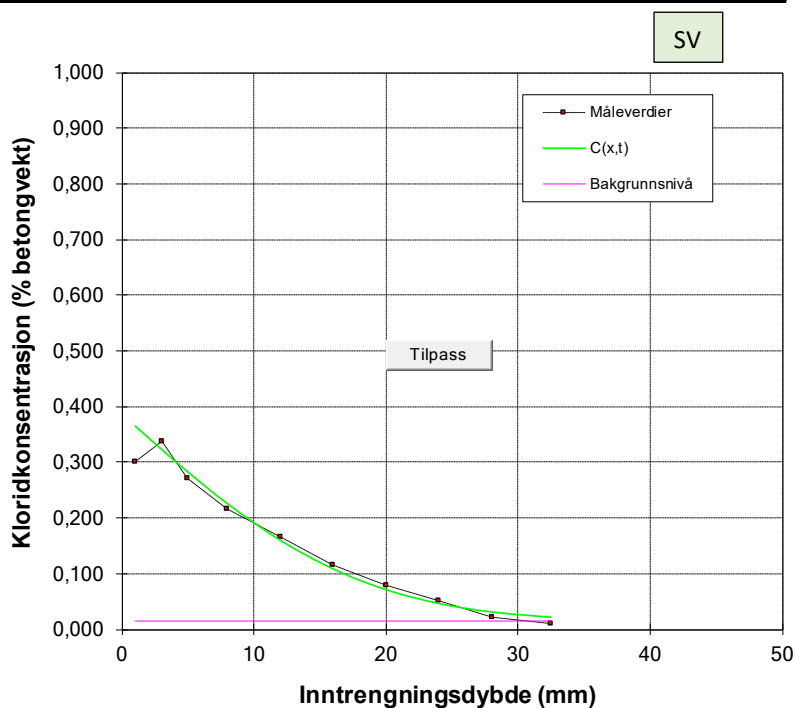
x	målt	status
1	0,188	
3	0,300	
5	0,354	ok
8	0,275	ok
12	0,206	ok
16	0,184	ok
20	0,133	ok
24	0,096	ok
28	0,060	ok
32,5	0,025	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Anl40 **Profil** 6B-B(F1-B) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,387	% betong
D	0,99	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9965	
Inntrengning	108,6	g/m^2
k (0.1 %)	9,6	mm

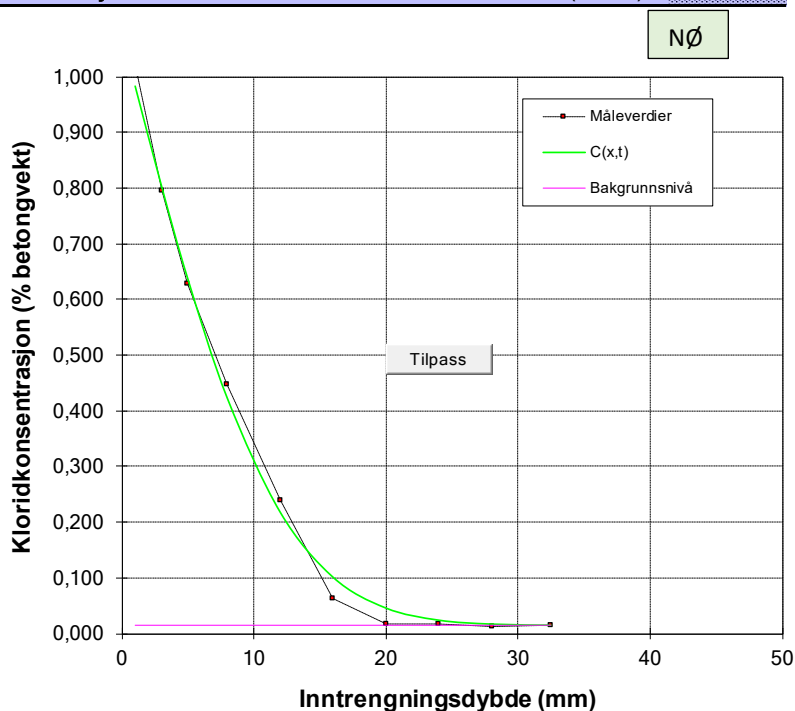
x	målt	status
1	0,300	
3	0,337	ok
5	0,271	ok
8	0,216	ok
12	0,166	ok
16	0,115	ok
20	0,078	ok
24	0,051	ok
28	0,022	ok
32,5	0,011	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Miljø30 **Profil** 7A-T(G1-M) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,075	% betong
D	0,43	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9978	
Inntrengning	224,2	g/m^2
k (0.1 %)	9,1	mm

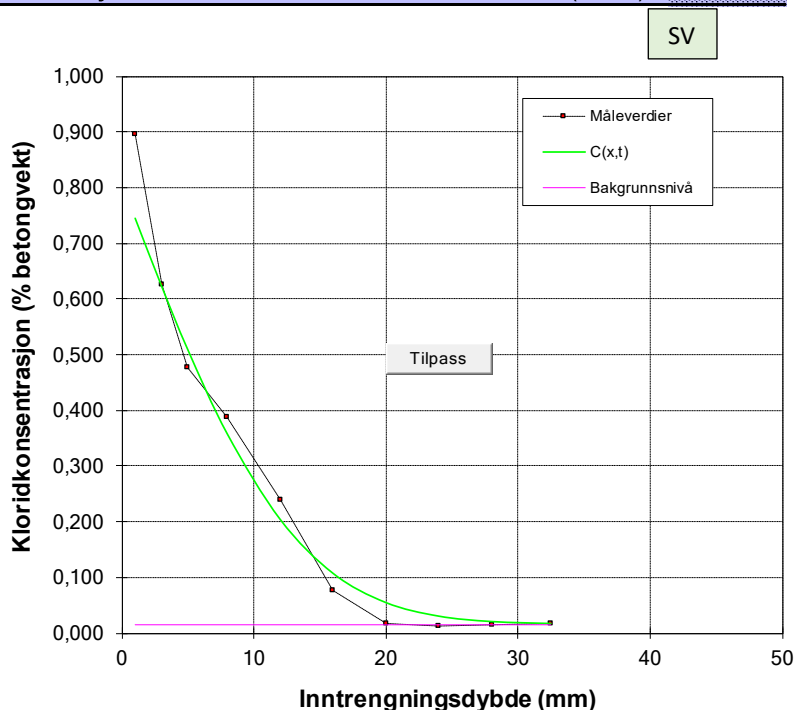
x	målt	status
1	1,022	
3	0,796	ok
5	0,629	ok
8	0,448	ok
12	0,240	ok
16	0,062	ok
20	0,017	ok
24	0,017	ok
28	0,013	ok
32,5	0,014	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Miljø30 **Profil** 7A-B(G1-M) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,806	% betong
D	0,52	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9940	
Inntrengning	190,5	g/m^2
k (0.1 %)	9,2	mm

x	målt	status
1	0,895	
3	0,627	ok
5	0,476	ok
8	0,387	ok
12	0,239	ok
16	0,077	ok
20	0,017	ok
24	0,012	ok
28	0,015	ok
32,5	0,017	ok

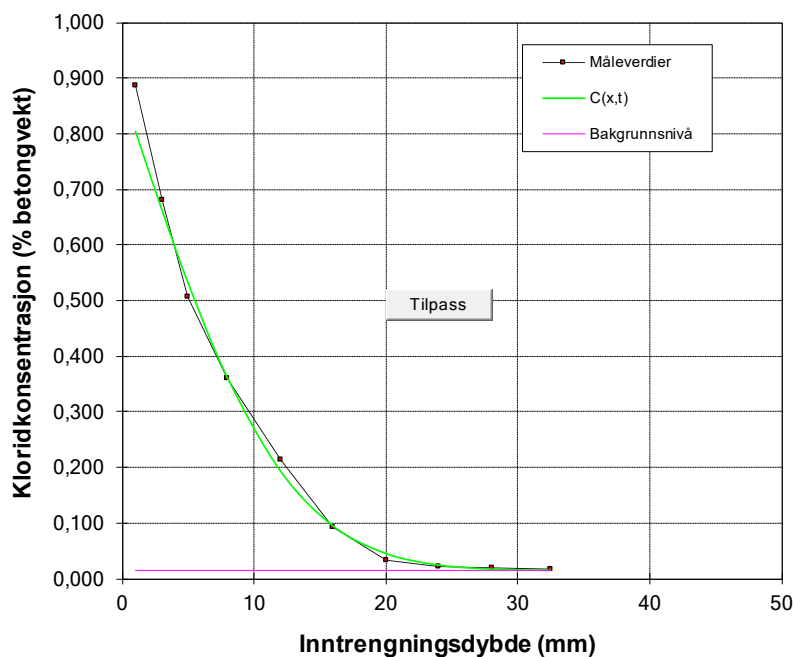


Beregning av C_0 og D Prosjekt: Miljø30 Profil 7B-T(G1-B) © 2012-01-09 ss

NØ

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,876	% betong
D	0,46	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9984	
Inntrengning	194,5	g/m^2
k (0.1 %)	8,9	mm

x	målt	status
1	0,886	
3	0,680	ok
5	0,506	ok
8	0,360	ok
12	0,215	ok
16	0,092	ok
20	0,034	ok
24	0,022	ok
28	0,019	ok
32,5	0,017	ok

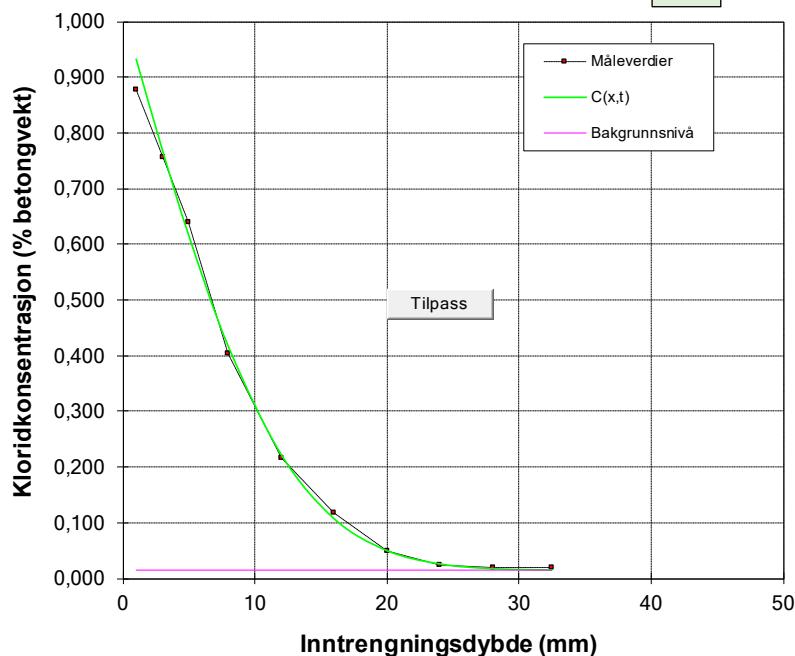


Beregning av C_0 og D Prosjekt: Miljø30 Profil 7B-B(G1-B) © 2012-01-09 ss

SV

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,015	% betong
D	0,46	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9992	
Inntrengning	215,7	g/m^2
k (0.1 %)	9,2	mm

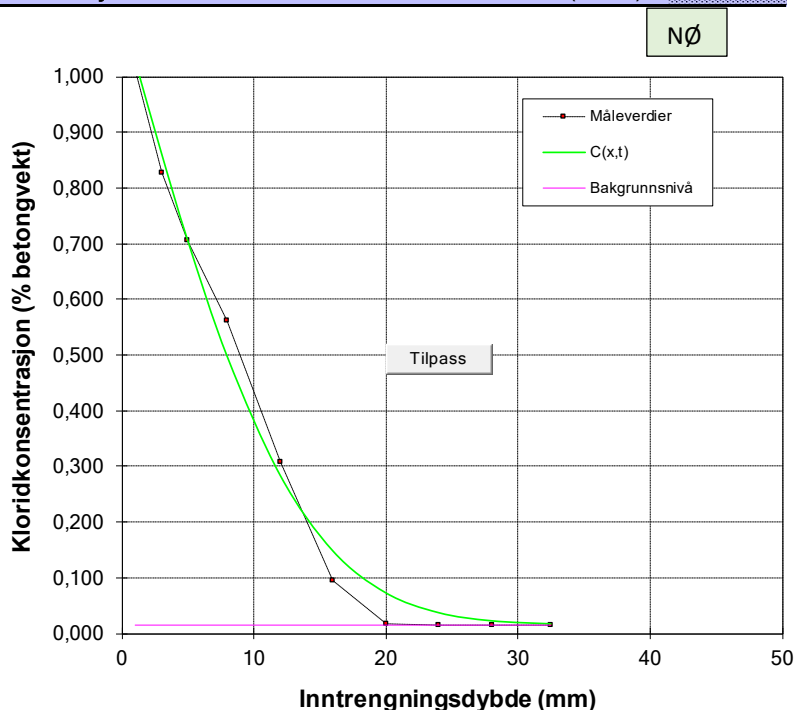
x	målt	status
1	0,877	
3	0,756	ok
5	0,639	ok
8	0,403	ok
12	0,216	ok
16	0,118	ok
20	0,050	ok
24	0,023	ok
28	0,019	ok
32,5	0,020	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Aalb20 **Profil** 8A-T(H1-M) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	1,113	% betong
D	0,54	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9936	
Inntrengning	250,9	g/m^2
k (0.1 %)	10,2	mm

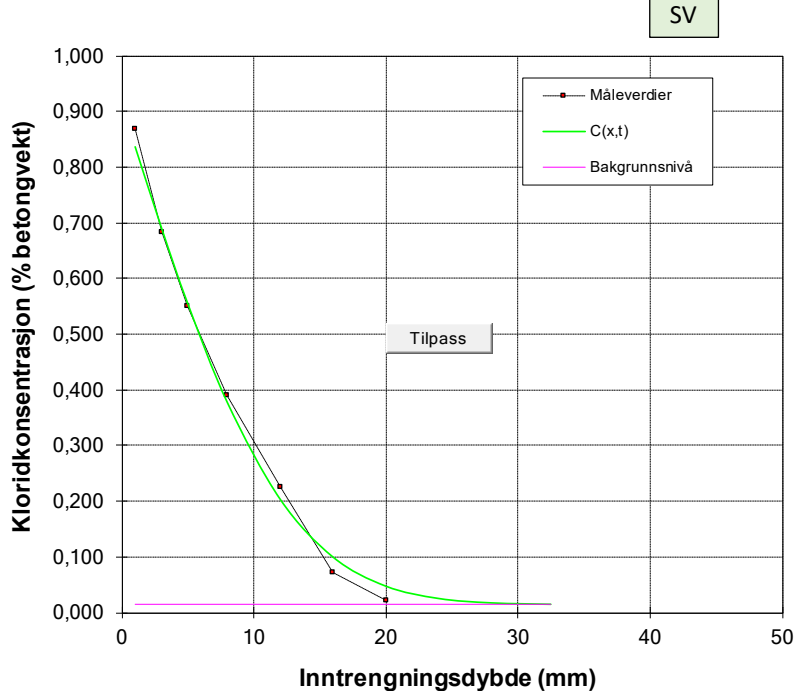
x	målt	status
1	1,013	
3	0,827	ok
5	0,705	ok
8	0,562	ok
12	0,308	ok
16	0,095	ok
20	0,018	ok
24	0,016	ok
28	0,016	ok
32,5	0,015	ok



Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Aalb20 **Profil** 8A-B(H1-M) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,911	% betong
D	0,46	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9973	
Inntrengning	193,4	g/m^2
k (0.1 %)	9,0	mm

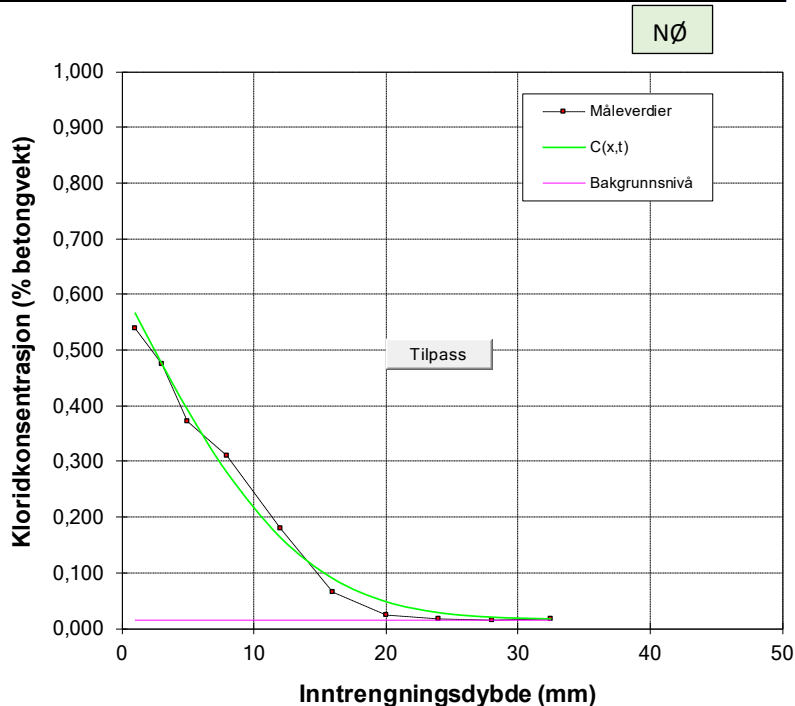
x	målt	status
1	0,869	
3	0,684	ok
5	0,551	ok
8	0,391	ok
12	0,226	ok
16	0,073	ok
20	0,021	ok
24		
28		
32,5		



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Aalb20 Profil 8B-T(H1-B) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,612	% betong
D	0,54	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9945	
Inntrengning	136,5	g/m^2
k (0.1 %)	8,6	mm

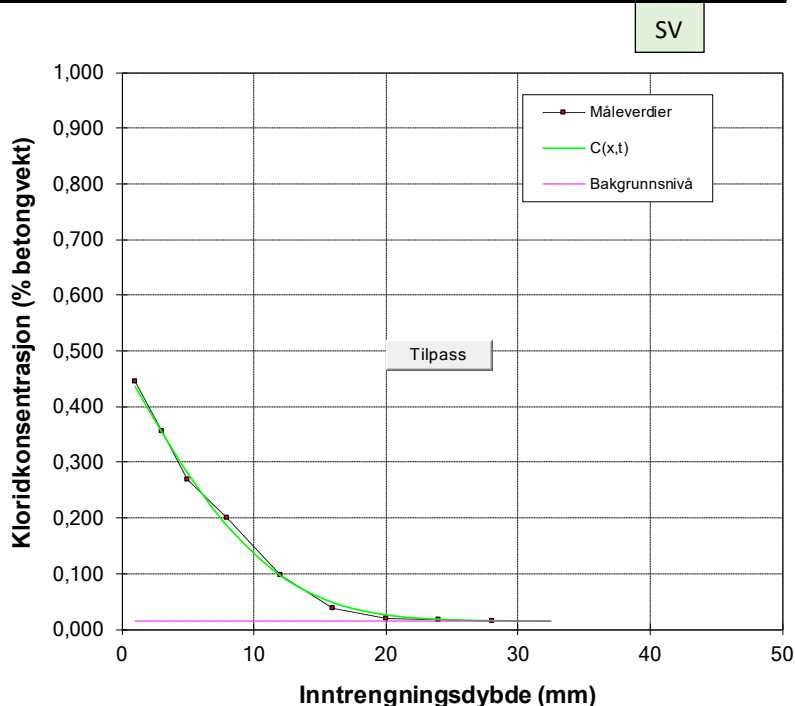
x	målt	status
1	0,538	
3	0,474	ok
5	0,371	ok
8	0,311	ok
12	0,180	ok
16	0,065	ok
20	0,024	ok
24	0,017	ok
28	0,016	ok
32,5	0,017	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Aalb20 Profil 8B-B(H1-B) © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	27528	timer
Bakgrunn	0,015	% betong
C_0	0,476	% betong
D	0,40	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9980	
Inntrengning	94,6	g/m^2
k (0.1 %)	6,7	mm

x	målt	status
1	0,446	
3	0,356	ok
5	0,269	ok
8	0,200	ok
12	0,098	ok
16	0,037	ok
20	0,019	ok
24	0,017	ok
28	0,015	ok
32,5		





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