

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

FoU-programmet Bedre bruvedlikehold 2017 - 2021

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 144



Tittel

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Undertittel

FoU-programmet Bedre bruvedlikehold
2017 – 2021

Forfatter

Stig Henning Helgestad, Øyvind Bjøntegaard,
Eva Rodum

Avdeling

Vegavdelingen

Seksjon

Tunnel, geologi og betong

Prosjektnummer

604875

Rapportnummer

Nr. 144

Prosjektleder

Hedda Vikan

Godkjent av

Karla Hornbostel

Emneord

Reparasjonsmørtel, trykkfasthet,
kloridmotstand, spesifikk elektrisk motstand

Sammendrag

Motstand mot kloridinntrengning er en viktig og kjent egenskap for betongens levetid. For reparasjonsmørtler er kunnskap om denne egenskapen mangelfull. Det ble derfor igangsatt et laboratorieprogram med undersøkelser av 10 kommersielle produkter. Utprøvingen ble i all hovedsak basert på metoden NS-EN 13396 Måling av kloridinntrengning.

Title

Resistance to chloride ingress in repair mortars

Subtitle

R&D-programme Better Bridge Maintenance
2017 - 2021

Author

Stig Henning Helgestad, Øyvind Bjøntegaard,
Eva Rodum

Department

Roads Department

Section

Tunnel, geology and concrete

Project number

604875

Report number

No. 144

Project manager

Hedda Vikan

Approved by

Karla Hornbostel

Key words

Repair mortar, compressive strength, chloride resistance, specific electrical resistivity

Summary

The resistance to chloride ion ingress is a valuable and known property for the durability of concrete. When it comes to repair mortars, this knowledge is inadequate. A laboratory survey on 10 commercial repair mortars was started. The testing was based on the European standard NS-EN 13396 Measurement of chloride ion ingress.

Innhold

1	Innledning	3
2	Mørtelprodukter og prøvingsopplegg	4
2.1	Mørtelprodukter	5
2.2	Prøvningsmetoder	6
3	Vannforbruk, blanding og utstøping.....	8
4	Resultater	10
4.1	Trykkfasthet og spesifikk elektrisk motstand	10
4.2	Kloridinntrengning	14
5	Vurdering av resultatene.....	23
6	Konklusjon	27
7	Forslag til videre arbeid	29
8	Referanser	30

Vedlegg:

VEDLEGG 1	Tabeller med kloridanalyser, NS-EN 13396	31
VEDLEGG 2	Kloridprofiler for hver mørtel enkeltvis, NS-EN 13396	33
VEDLEGG 3	Beregning av diffusjonskoeffisienter, NT Bulid 443	39
VEDLEGG 4	Beregning av diffusjonskoeffisienter, NS-EN 13396	47

Forord

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

Bedre bruvedlikehold består av fire prosjekter:

Prosjekt 1: Forvaltningsverktøy for bruer

Prosjekt 2: Armeringskorrosjon i betong

Prosjekt 3: Alkalireaksjoner i betong

Prosjekt 4: Vedlikehold av stålbruer

Bedre bruvedlikehold ledes av Hedda Vikan, Vegdirektoratet.

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

Rapporten er skrevet av Stig Henning Helgestad, Øyvind Bjøntegaard og Eva Rodum, og er utarbeidet i delprosjekt 2.3 «Vedlikehold ved mekanisk reparasjon». Den gir oversikt over reparasjonsmørtler i det norske markedet, der egenskapene kloridinntrengning, spesifikk elektrisk motstand og trykkfasthet ble undersøkt i et laboratorieprogram og resultatene sammenlignet mot to referansebetonger.

1 Innledning

Høy kloridmotstand i betong er en viktig egenskap for langtids beskyttelse av innstøpt armering. Det er ikke krav til dokumentasjon av kloridmotstand for reparasjonsmørtler, og vi har også liten erfaring med denne egenskapen for mørtler. For å få mer kunnskap om dette ble laboratorieundersøkelser igangsatt. Alle forsøk er utført ved Statens vegvesen sitt Sentrallaboratorium i Oslo.

En reparasjonsmørtel kan sees på som del av et system der både heftbru, korrosjonsbeskyttelse og eventuell overflatebehandling bidrar til den totale beskyttelsen av armeringen, i tillegg til selve mørtelen. I denne undersøkelsen er ikke hele systemer vurdert, kun reparasjonsmørtlene.

Reparasjonsmørtler er regulert etter den felleseuropeiske standardserien NS-EN 1504: *Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner – Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar*. Standarden består av 10 deler, hvor del 3: *Reparasjoner for bærende og ikke-bærende formål* er en harmonisert produktstandard for reparasjonsmørtler. Produktene karakteriseres i NS-EN 1504-1: *Definisjoner* i ulike klasser avhengig av hovedbestanddelene hvor, for eksempel, klasse CC betegner at mørtelen er basert på et hydraulisk bindemiddel (sementbasert) og klasse PCC betegner at mørtelen er basert på hydraulisk bindemiddel men samtidig tilsatt polymer tilsetningsstoff i en mengde stor nok til å oppnå spesifikke egenskaper. Dette kan for eksempel være forbedret heft til underlaget eller økt bøyestrekfasthet. Det er ingen definert grense i antall % polymer som skiller mellom når en mørtel er klasse CC eller PCC.

For Statens vegvesen gis krav til type mørtel og egenskaper for reparasjonsmørtler i Håndbok R762: *Prosesskode 2. Standard beskrivelsestekster for bruer og kaier*. Aktuell prosess er 88.2, som referer til minimumskravene i NS-EN 1504-3 (som er basis for CE-merking) samt angir tilleggskrav. Hovedregelen er at mørtelens egenskaper skal tilpasses den eksisterende betongkvaliteten. Hvis ikke annet er angitt skal det benyttes sementbaserte mørtler (CC eller PCC) som tilfredsstillende mørtelklasse R4.

Egenskaper som alltid skal være dokumentert som grunnlag for CE-merking er:

- Trykkfasthet
- Kloridinnhold
- Heftfasthet
- Fastholdt svinn/ekspansjon
- Motstand mot karbonatisering

I tillegg stiller Statens vegvesen krav til følgende egenskaper:

- Termisk kompatibilitet – fryse/tine
- E-modul
- Kapillær absorpsjon
- Spesifikk elektrisk motstand (ved bruk i forbindelse med elektrokjemiske reparasjonsmetoder)

Mørtelklasse R4 er strengeste klasse for «bærende reparasjoner» iht. NS-EN 1504-3, hvilket bl.a. innebærer krav til terningtrykkfasthet ≥ 45 MPa (sylinderfasthet ≥ 35 MPa).

Ved bruk av reparasjonsmørteler i forbindelse med elektrokjemiske metoder er det i HB R762 stilt krav om at spesifikk elektrisk motstand (resistivitet) for mørtelen skal være større enn 50 % og mindre enn 200 % i forhold til opprinnelig betong som er under reparasjon.

Når det gjelder måling av kloridmotstand er det i NS-EN 1504-3 «informativt vedlegg B», angitt en laboratoriemetode (NS-EN 13396). Metoden er beskrevet som bare aktuell å benytte ved såkalte «spesielle bruksområder», og salteksposering nevnes blant annet som et spesielt bruksområde. For våre brukere og fergekaier er salteksposering (sjøsalt/tinesalt) sånn sett den eksponeringstypen vi er aller mest opptatt av. Ingen mørtelprodukter tilgjengelig i det norske markedet har i dag opplysninger om kloridmotstand i sine produktdatablader.

Laboratorieopplegget omfatter prøving av kloriddiffusjon, trykkfasthet og spesifikk elektrisk motstand (resistivitet). I tillegg til den mørtelspesifikke kloriddiffusjonsmetoden nevnt ovenfor er det for noen materialvarianter også gjort forsøk med en annen kloriddiffusjonsmetode (NT-Build 443). Denne metoden har i mange år vært vanlig å bruke på betong, og benyttes her som en sammenlikning.

Mørtelproduktene som ble valgt ut har vært benyttet i Statens vegvesen-prosjekter, og samtidig tilfredsstiller de kravene til CE merking i klasse R3 eller R4 iht. NS-EN 1504-3. Leverandørene ga innspill om hvilke produkter som normalt anvendes til reparasjon av brukonstruksjoner. Totalt ble 6 leverandører og 10 produkter valgt ut. Leverandørene som har gitt bidrag til prosjektet er: BASF, Mapei, Pagel, Sika, STO og Weber. I tillegg til prøving av de 10 mørtelproduktene, ble det som referanser også prøvd ut to vanlige betonger, hhv. SV-30 og SV-40 (etter datidens gjeldende regelverk SVV Håndbok R761:2012).

I resultatkapitlet er resultatene anonymisert ved at mørtelproduktene er angitt som bokstavkoder.

2 Mørtelprodukter og prøvingsopplegg

10 mørtelprodukter og 2 referansebetonger er undersøkt. For alle 12 variantene er det målt:

- Kloriddiffusjon etter NS-EN 13396:2004 (neddykking i 3 % NaCl-løsning). Dette er metoden som er spesifisert for reparasjonsmørtler iht. NS-EN 1504-3:2005 Annex B.
 - Prøvestykkene ble eksponert ved 29 døgns alder
 - Kloridbestemmelse etter 28, 90 og 180 døgns eksponering
- Spesifikk elektrisk motstand, etter Statens vegvesens Håndbok R210:2015, metode 443.
 - Prøvning ved 57, 119 og 209 døgns alder
- Trykkfasthet, etter NS-EN 12190: *Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner, Prøvingsmetoder – Bestemmelse av trykkfasthet for reparasjonsmørtel.*
 - Prøvningsalder 28 døgn

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

For 5 av variantene (3 mørtler og 2 referansebetonger) ble det i tillegg gjort:

- Kloriddiffusjonsforsøk («bulkdiffusjon») etter Statens vegvesens Håndbok R210:2016, metode 441 (NT Build 443 – neddykking i 16,5% NaCl-løsning[7]). Dette er metoden som tradisjonelt har vært brukt for betong og som det finnes mye erfaringsdata fra.
 - Prøvestykkene ble eksponert ved 36 døgns alder
 - Kloridbestemmelse etter 35 døgns eksponering

2.1 Mørtelprodukter

Tabell 2-1 viser hvilke mørtelprodukter som er undersøkt. Produktene/materialvariantene er i det videre anonymisert med bokstavkoder fra A til J. Sammenhengen mellom bokstavkoder, materialtyper og hvilken prøving som er utført er vist i Tabell 2-2.

Tabell 2-1: Oversikt over leverandører og produkter

Leverandør	Produkt	Type mørtel ^{*)}	Type bindemiddel
BASF	S 5400	H	CC
BASF	T 1000 TIX	H	CC
Mapei	Redirep 45 RSF	H	PCC
Mapei	DS	T	CC
Pagel	R 20/20	H	CC
Sika	Rep 312 N	H	CC
STO	TG 3	H	PCC
STO	TS 100	T	CC
Weber	Rep 65	H	CC
Weber	Sprøyterep T	T	CC
Referanser (betong fra blaneverk ^{**)})	SV 30 (SV-Standard)	Betong	Std FA + 7,5 % SF
	SV 40 (SV-Standard)	Betong	Std FA + 4,2 % SF

^{*)} H=reparasjonsmørtel for håndmørtling, T=tørresprøytemørtel

^{**)} Se avsnitt 3

Tabell 2-2: Oversikt over produktidentitet (bokstavkode), produkttyper og prøvingsprogram

Produkt-ident	Type mørtel ^{*)}	Type bindemiddel	Kloriddiffusjon (NS-EN 13396), resistivitet og trykkfasthet	Klorid-diffusjon (NT Build 443)
A	H	CC	X	
B	T	CC	X	X
C	H	PCC	X	
D	T	CC	X	
E	H	CC	X	

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

F	H	CC	X	X
G	H	CC	X	
H	H	PCC	X	
I	T	CC	X	X
J	H	CC	X	
SV30	Betong	Std FA + 7,5 % SF	X	X
SV40	Betong	Std FA + 4,2 % SF	X	X

**) H=reparasjonsmørtel for håndmørtling, T=tørresprøytemørtel*

2.2 Prøvningsmetoder

Kloriddiffusjon etter NS-EN 13396:

7 stk sylindriske prøvestykker Ø100mm x 200 mm støpes ut, avforming etter 1 døgn og deretter lagring ved 21 ± 2 °C i 27 døgn. Betongene og CC mørtlene vannlagres i 27 døgn, mens PCC mørtlene etter avforming pakkes og lagres i plast de neste 48 timer før de deretter oppbevares de neste 25 døgnene i standard laboratorieklima (21 ± 2)°C og (60±10)% RF. Prøvestykkene pre-kondisjoneres så til vannmetning ved neddykking i vann under vakuum. Alle prøvestykker var her vannmettet etter 1 døgn, dvs. fra døgn 28 til 29. Ved 29 døgn sages sylindrene i to halvdeler. 6 stk øvre halvdeler (med avstrykningsflaten) legges i en 3% NaCl-løsning, og 1 stk øvre halvdel legges i rent vann. Sylindrene legges ubehandlet ned i kloridløsning, dvs. sideflatene behandles/forsegles ikke.

- Etter 28 døgn i kloridløsning (dvs. ved 57 døgns alder, etter eksponering fra 29 til 57 døgn) tas 2 sylindre opp fra kloridløsningen. Den vannlagrede sylindren tas opp samtidig og prøveseriens bakgrunns kloridinnhold bestemmes.
- Etter 90 døgn i kloridløsning (dvs. ved 119 døgns alder, etter eksponering fra 29 til 119 døgn) tas 2 nye sylindre opp fra kloridløsningen
- Etter 180 døgn i kloridløsningen (dvs. ved 209 døgns alder, etter eksponering fra 29 til 209 døgn) tas de 2 siste sylindrene opp fra kloridløsningen
- For hver av prøvestykkene ble det fra støpeflaten (avstrykningsflaten) og innover frest ut støv i følgende sjikt etter at prøvene var tatt opp av kloridløsning: 0–2 mm, 2–4 mm, 4–6 mm, 6–8 mm og 8–10 mm (merk at dette er flere sjikt enn hva metoden beskriver). Metoden beskriver at sjiktene ikke skal omfatte de ytterste 20 mm mot sideflatene for å unngå innflytelse fra flerdimensjonal kloridinntrengning. I forsøket ble de ytterste 25 mm utelatt fra fresingen.

Støvet fra hvert sjikt ble analysert for kloridinnhold (i % av tørr mørtel-/betongvekt) ved bruk av potensiometrisk titrering, og for alle prøvestykker er det laget kloridprofil. For hver kloridprofil ble det beregnet en total mengde inntrengte klorider (i g/m²). Ved omregning er det antatt en tørrdensitet på 2200 kg/m³ og en bakgrunnsverdi på 0,02 %. I tillegg er det beregnet en kloriddiffusjonskoeffisient og en overflatekonsentrasjon basert på Fick's 2. lov for ren diffusjon (som angitt i NT Build 443).

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Kloriddiffusjon etter Håndbok R210:2016, metode 441 / NT Build 443:

For de tre mørtlene og det to referansebetongene som skulle prøves iht. NT Build 443 ble 3 stk nedre sylinderhalvdeler benyttet som prøvestykker, se ovenstående beskrivelse av tildanning for prøving iht. NS-EN 13396. Etter avforming ved 1 døgn ble betongsylindrene vannlagret i 28 døgn, deretter saget i to på tvers. Fra den ene halvparten av den ene betongsylinderen sages av en 20 mm skive som knuses ned for å finne bakgrunns kloridnivået. De øvrige tre betonghalvparter og tre aktuelle mørtelhalvparter ble så lagret i mettet $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsning inntil stabil vekt (ble oppnådd i løpet av 24 timer), påført to lag epoxy-belegg på alle flater unntatt sagflaten, deretter ny lagring i mettet $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsning inntil stabil vekt (i løpet av nye 24 timer). Prøvestykkene ble så lagt i en 16,5% NaCl-løsning i 35 dager (i disse forsøkene fra 36 døgns alder). Prøvestykkene ble så tatt opp av kloridløsningen (ved 71 døgns alder) og følgende sjikt ble frest fra sagflaten og innover: 0–2 mm, 2–4 mm, 4–6 mm, 6–8 mm, 8–12 mm, 12–16 mm, 16–20 mm, 20–24 mm, 24–30 mm.

Fra alle prøvestykker er det så laget kloridprofil og beregnet en klorid-diffusjonskoeffisient (D) og en overflatekonsentrasjon (C_0).

Spesifikk elektrisk motstand etter Håndbok R210:2016, metode 443:

2 stk 100 mm terninger ble støpt ut for hver materialvariant. Etter avforming ved 1 døgn ble alle terningene vannlagret. Ved hver måling tas terningene opp fra vannbadet og legges mellom to elektrodeplater med filt imellom, og et lodd legges oppå den øverste platen. Elektrisk motstand måles så mellom elektrodeplatene med et LCR-meter ved 1 kHz frekvens. Etter måling legges så terningene tilbake i vannbadet, til neste måling. Målt elektrisk motstand, R, regnes om til spesifikk elektrisk motstand (resistivitet), ρ , som følger:

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l} \quad (\Omega m)$$

hvor:

R = målt motstand, (Ω)

A = arealet av prøvestykkets måleflater (m^2)

l = avstanden mellom prøvestykkets måleflater (m)

Målinger ble gjort samtidig med kloridmålingene i NS-EN 13396-metoden, dvs. ved følgende alder:

- 57 døgn
- 119 døgn
- 209 døgn

Trykkfasthet etter NS-EN 12190:

Det ble støpt ut 2 stk prizmer med dimensjon (40x40x160) mm pr mørtelvariant, iht NS-EN 12190: *Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner, Prøvningsmetoder - Bestemmelse av trykkfasthet for reparasjonsmørtel.*

Etter avforming ved 1 døgn lagres prismene i 27 døgn, CC mørtlene vannlagres i 27 døgn, mens PCC mørtlene etter avforming pakkes og lagres i plast de neste 48 timer før de deretter oppbevares de neste 25 døgnene i standard laboratorieklima (21 ± 2)°C og (60 ± 10)% RF. Trykkfastheten ble så bestemt ved 28 døgns alder. Trykkfastheten bestemmes ved at prismene først splittes i to prøvestykker, dvs. to trykkfasthetsresultater pr. prisme. Med andre ord, hvert rapporterte prøvningsresultat er gjennomsnittet av fire enkeltresultater.

For hver av betongene ble det støpt ut 2 stk terninger for bestemmelse av trykkfasthet etter 28 døgns vannlagring (iht. NS-EN 12390-3).

3 Vannforbruk, blanding og utstøping

Mengde vann som skal tilsettes de ulike mørtelproduktene er angitt både i produktenes tekniske datablader, samt på sekkene. For alle produktene er anbefalt vannmengde oppgitt som et intervall (min/maks.). I forsøkene ble det for det enkelte produkt benyttet en vannmengde som er gjennomsnittet av anbefalt min/maks.-dosering.

Tre av produktene er tørrsprøytemørtler og for disse er vandoseringen en parameter som tilpasses på byggeplass av sprøyteoperatøren. Før blanding i laboratoriet ble disse mørtlene prøveblandet og vannmengden tilpasset en jordfuktig mørtelkonsistens, ala slik en tørrsprøytemørtel arter seg ved sprøyting.

For hvert mørtelprodukt ble følgende prøvestykker støpt ut:

- 7 stk Ø100 x 200 mm sylindere (kloriddiffusjon)
- 2 stk 100 mm terninger (resistivitet)
- 2 stk 40 x 40 x 160 mm prizmer (trykkfasthet)

For hver eneste sylinder ble det i en Hobartblander laget en separat blanding med 3,5 kg av mørtelproduktet (tørrvekt) og med aktuell mengde vann.

For hver av terningene ble det i en Hobartblander laget en separat blanding med 2,5 kg av mørtelproduktet og med aktuell mengde vann.

For prismene ble det i en Hobartblander laget en separat blanding med 2,5 kg av mørtelproduktet og med aktuell mengde vann.

Totalt behov av mørtel (tørrvekt) var ca. 32 kg for hvert produkt.

Aktuell vannmengde ble tilsatt blandebollen først og deretter ble tørrmørtel tilsatt gradvis under omrøring. Blandesekvensen var lik for alle blandingene/produktene og total blande/hviletid før utstøping var totalt 7,5 minutter.

For håndmørtler ble former for sylindre og terninger fylt lagvis (4 lag for sylindrene og 3 lag for terningene) og komprimert med bruk av vibrobord mellom hver fylling. For prismene var det tilstrekkelig med to lag, komprimering ble her i tillegg utført med stampestav. For

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

tørresprøytemørtlene kunne ikke vibrobord benyttes. Her ble produktene komprimert ved å stampe med en stav med kvadratisk endeflate, 35 x 35 mm.

Alle sluttflater ble glattet før tildekking med plast.

Det er ikke mulig å oppgi v/c-forhold (eller masseforhold) for mørtlene fordi sementinnhold (og evt. pozzolaner) ikke angis i databladene.

Øvre halvdel av 7 sylindre ble benyttet til kloriddiffusjonsforsøkene iht. NS-EN 13396 ettersom det er den bearbeidede flaten som er eksponeringsflaten. For tre av mørtelproduktene ble nedre halvdel av 3 sylindre benyttet til kloriddiffusjonsforsøkene iht. NT Build 443, ettersom det er sagflaten som er eksponeringsflaten.

De to referansebetongene ble produsert i fullskala ved Norbetongs fabrikk på Gjelleråsen. Betongene var av type B45 SV40 og B45 SV30, iht spesifikasjoner i tidligere versjon av Prosesskode 2 (HB 026:2007). I dagens regelverk (HB R762, prosess 84.4) tilsvarer SV40-betongen (4,2% silikastøv) og SV30-betongen (7,5% silikastøv) spesifikasjonen «SV-Standard», dog med et silikastøvinnhold for SV30-betongen som er noe over standard øvre grense på 5%. Sementtypen benyttet var Norcem standard FA og tilsiktet masseforhold var 0,39 for SV 40 og 0,38 for SV 30.

4 Resultater

4.1 Trykkfasthet og spesifikk elektrisk motstand

Resultatene fra forsøkene er gitt i tabell 4-1 som gir en oversikt over oppnådde verdier av trykkfasthet, egenvekt og spesifikk elektrisk motstand (resistivitet) for de ulike materialvariantene.

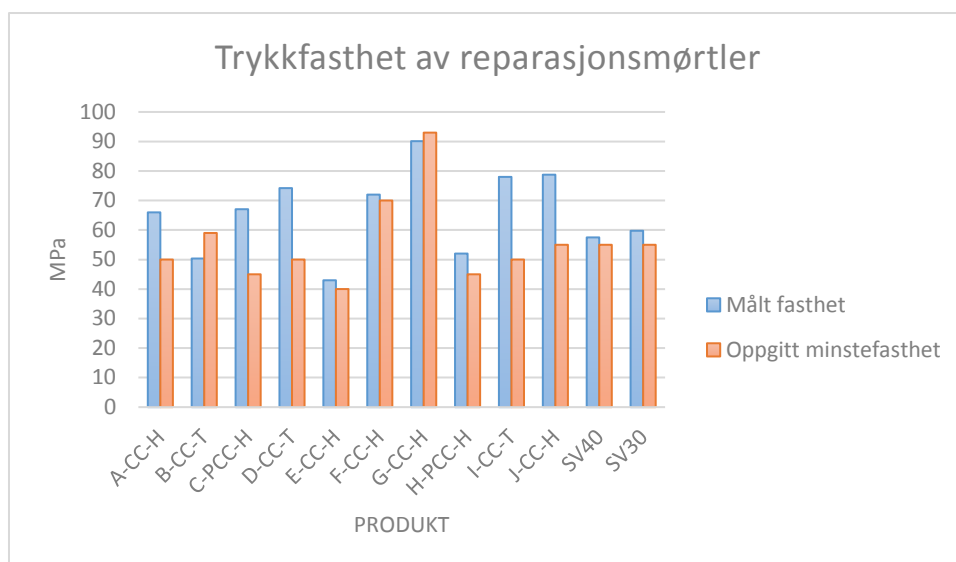
Tabell 4-1: Trykkfasthet og resistivitet for reparasjonsmørtler og betonger

Produkt	Trykkfasthet 28 døgn (middel og stdavvik for 4 prøvestk)	Egenvekt	Resistivitet (middel av 2 prøvestk)		
			57 døgn	119 døgn	209 døgn
	[MPa]	kg/dm ³	[Ωm]	[Ωm]	[Ωm]
A-CC-H	66,0 ± 4,1	2,19	189,6	287,4	280,9
B-CC-T	50,4 ± 1,9	2,26	184,7	265,1	259,8
C-PCC-H	67,1 ± 1,1	2,30	73,2	83,2	100,9
D-CC-T	74,2 ± 2,7	2,27	187,2	359,5	353,3
E-CC-H	43,0 ± 0,3	2,16	71,2	210,2	321,1
F-CC-H	72,0 ± 2,9	2,19	81,3	106,4	110,3
G-CC-H	90,1 ± 1,7	2,26	491,0	1191,0	2461,5
H-PCC-H	52,0 ± 0,8	2,20	56,0	197,6	318,0
I-CC-T	78,0 ± 1,2	2,25	717,2	1614,5	1689,5
J-CC-H	78,8 ± 0,8	2,24	416,8	929,1	1098,5
SV 40	57,5 ± 2,1*	2,34	176,7	391,3	531,2
SV 30	59,8 ± 3,4*	2,38	207,8	441,9	564,7

*) trykkfasthet for betongene ble utført på 2 stk 100x100x100 mm terninger

Figur 4-1 viser midlere trykkfasthet bestemt for de ulike materialvarianter, sammenstilt med trykkfastheter oppgitt i mørtelleverandørenes datablader.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

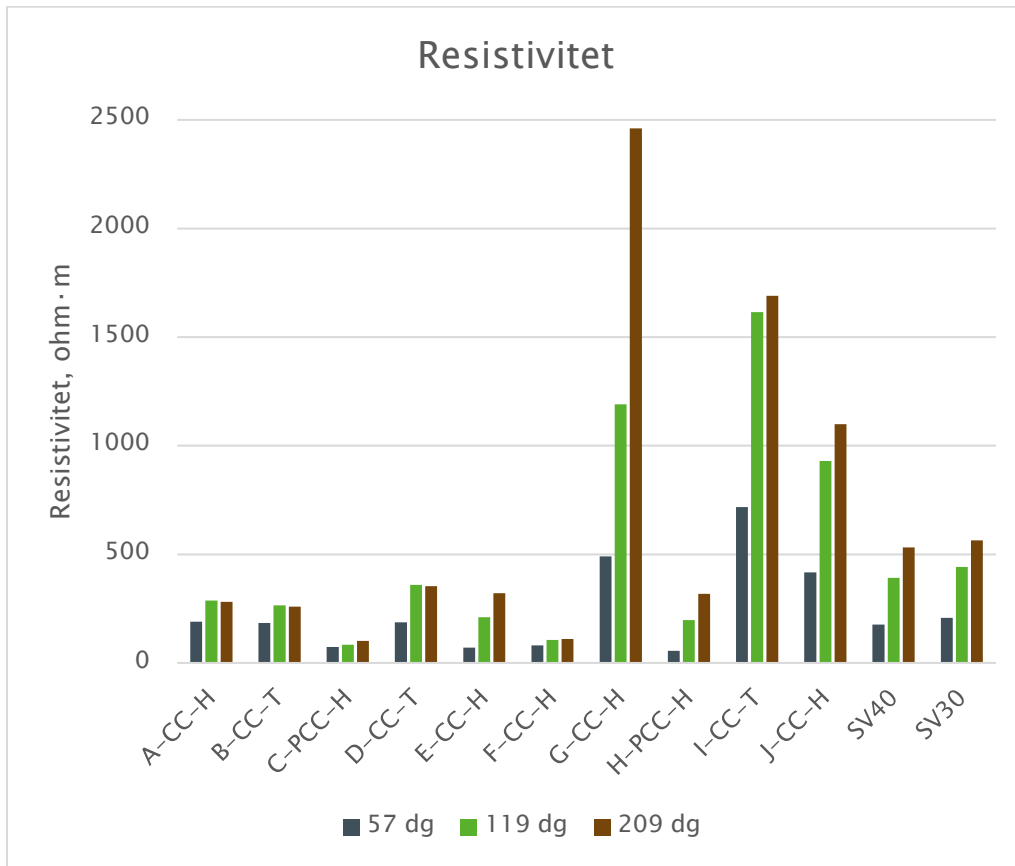


Figur 4-1: Trykkfasthet målt ved 28 døgns alder, sammenstilt med trykkfastheter oppgitt i leverandørenes datablader (trolig minimumsverdi knyttet til maksimal tillatt vanntilsetning).

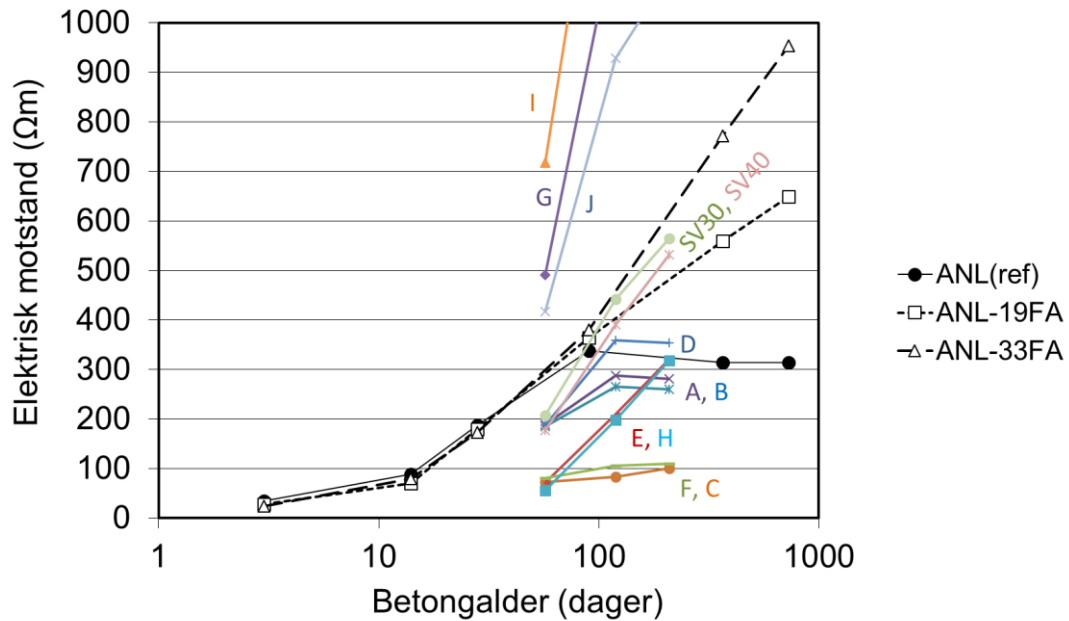
De trykkfasthetene som leverandørene angir for sine produkter antas å representere en minimumsverdi knyttet til angitt maksimal vanntilsetning. Ved våre blandinger la vi oss midt i angitt intervall for vanntilsetning, og det er å forvente at vi bør ligge over den oppgitte fastheten i våre forsøk. Ser vi på alle mørtlene samlet målte vi fastheter som i gjennomsnitt ligger 24 % over leverandørenes oppgitte (minste-)verdi. Høyeste målte fasthet i forhold til oppgitt verdi ligger 56 % over. For tre mørtler ligger målt og oppgitt fasthet på samme nivå, men to mørtler har lavere målt fasthet enn den oppgitte.

I Figur 4-2 er de ulike materialvarianters resistivitet ved ulike alder fremstilt grafisk i stolpediagram. I Figur 4-3 er målte verdier sammenstilt grafisk med resultater fra et tidligere SVV-prosjekt hvor effekt av ulike flygeaskeinnhold (0, 19 og 33 % av bindemiddelmengden) på bestandighet ble undersøkt [5].

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand



Figur 4-2: Utvikling av spesifikk elektrisk motstand (resistivitet) over tid.



Figur 4-3: Utvikling av spesifikk elektrisk motstand (resistivitet) over tid, sammenstilt med resultater fra betonger med Norcem anleggssement og hhv. 0, 19 og 33 % flygeaske (av bindemiddelmengden) [5]

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Det er store forskjeller i resistivitet, både når det gjelder nivå og utviklingsforløp. Mørtlene A, B, D, F og I viser tilnærmet ingen utvikling (mindre enn 5 %) mellom 119 til 209 døgn, mens det for produkt G ble registrert en dobling i resistivitet i denne perioden. De øvrige mørtler og betonger har en økning i området 20–60 %. Produktene G, I og J skiller seg ut med svært høy resistivitet og produktene C og F med svært lav resistivitet.

De to referansebetongene har tilnærmet lik utvikling over tid. Begge har målte resistivitetsverdier godt over 500 Ωm etter 209 døgn. Resistivitet for betong over 500 Ωm allerede etter 209 døgn er noe høyere enn det man erfaringsmessig har målt på tilsvarende betong ved tilsvarende alder (laborariestøpt og vannlagret betong med flygeasketilsetning) [4][5], se også Figur 4–3.

Dersom materialprodusentene skulle deklare verdier for resistivitet, vil alder være en nøkkelparameter for å angi produktenes egenskaper. For å kunne sammenligne mørtlenes resistivitet mot underbetongens (som er relevant for reparasjonsarbeider som inkluderer elektrokjemisk behandling), så er det avgjørende at en fanger opp langtids-resistiviteten til mørtlene.

I referanse [6] ble undersøkelser av eksisterende betongkonstruksjoner (alder 7–14 år) rapportert, blant annet ble resistivitet målt. Målingene ble utført på utborede betongsyndre med diameter 74 – 84 mm og høyde 50 mm. Syndrene ble vannlagret til stabil vekt før måling. Et utdrag av målte verdier av resistivitet er gitt i tabell 4–2. Alle disse konstruksjonene ble laget med betong basert på Norcem Anleggssement.

Tabell 4–2: Utdrag av resistivitetmålinger fra tidligere undersøkelser av betong utboret fra felt.

Objekt	Betongspesifikasjon	Alder på betong [år]	Resistivitet [Ωm]
Bakkasundet bru	SV40 – C55	14	~ 450
Solavågen fergekai	SV40 – C55	7	~ 320
Stokkøybrua	SV30 – C55	14	~ 410

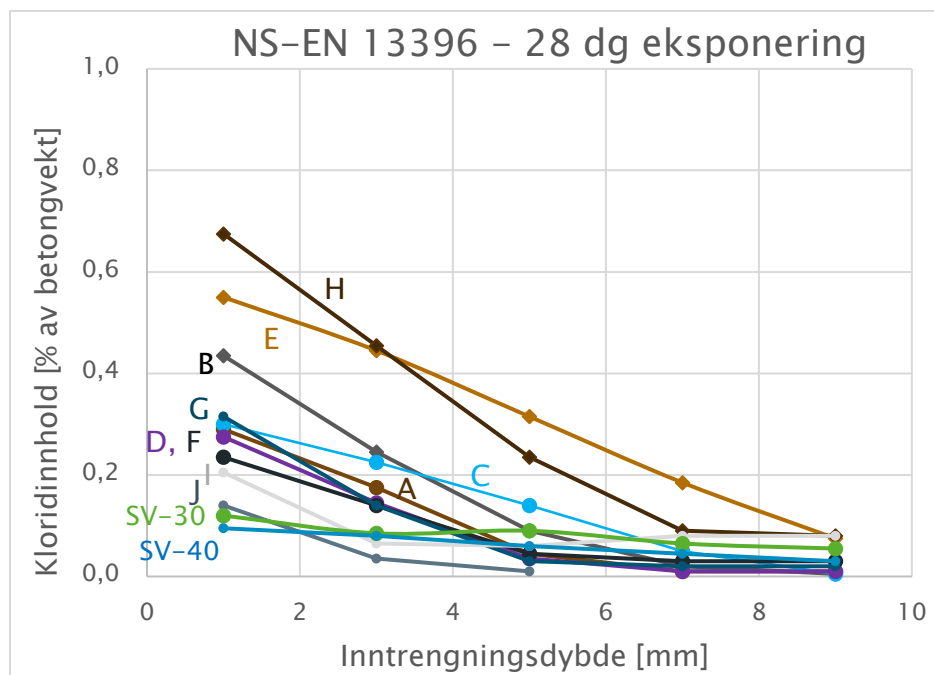
I våre forsøk (Tabell 4–1) har referansebetongene passert 500 Ωm etter 209 døgn og er allerede høyere enn de mange år gamle konstruksjonsbetongene i tabell 4–2. En årsak til dette kan være at referansebetongene i forsøket ble produsert med Norcem Standardsement FA, dvs. en flygeaskesement. Flygeaske bidrar erfaringsmessig til betydelig økt resistivitet over tid.

Dersom de undersøkte mørtlene skulle vært vurdert brukt til reparasjon av de ovennevnte bruer, i kombinasjon med elektrokjemisk behandling, så ville mørtlene C og F ha for lav resistivitet (< 50 % av underbetongen) og mørtlene G, I og J ha for høy resistivitet (> 200 % av underbetongen). Dette hvis vi legger til grunn resistivitetsverdier bestemt ved 209 døgns alder. Det er verdt å nevne at disse bruene er støpt med betong av høy kvalitet (lavt masseforhold og silikatilsetning). Eldre bruer kan ha betong av betydelig lavere kvalitet (f.eks. masseforhold 0,50 og bindemiddel av ren CEM I sement) og således ha lavere spesifikk elektrisk motstand.

4.2 Kloridinntrengning

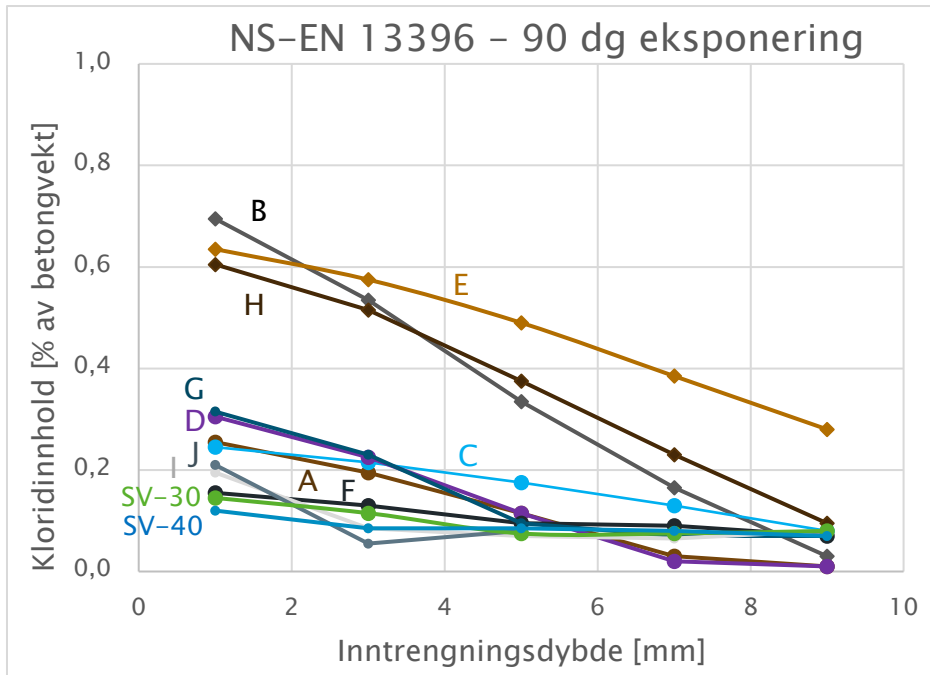
4.2.1 Prøving iht. NS-EN 13396

Kloridinntrengning etter 28, 90 og 180 døgns eksponering (middelverdier) er vist henholdsvis i Figur 4-4, Figur 4-5 og Figur 4-6. Tabeller med alle tallverdiene er gitt i VEDLEGG 1 og figurer som viser kloridutvikling over tid, for hver mørtel enkeltvis, er gitt i VEDLEGG 2.

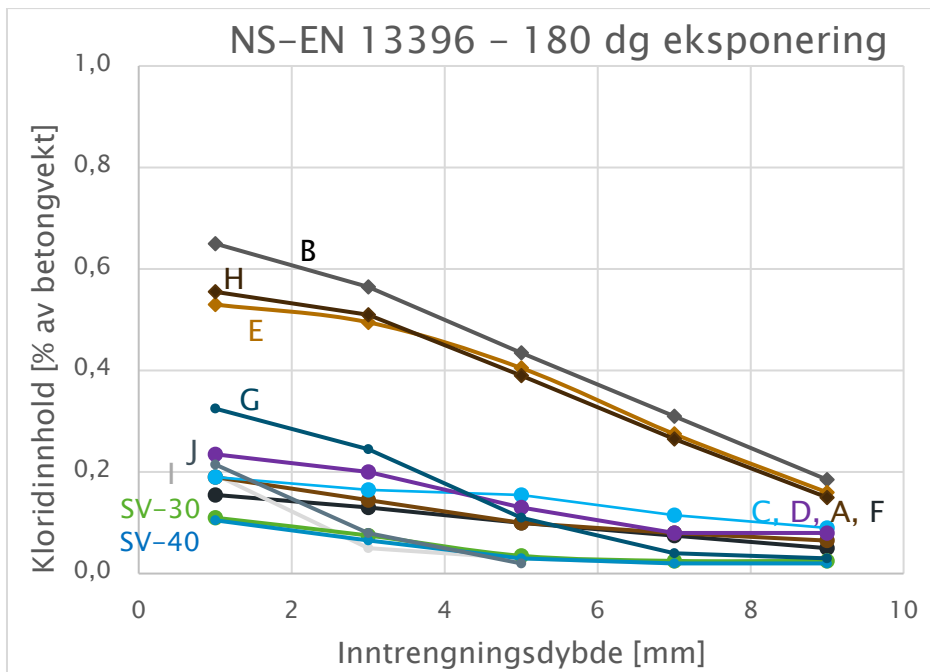


Figur 4-4: Kloridinntrengning i reparasjonsmørtler ved 57 dogn, etter 28 dogn i kloridløsning. Hver kurve representerer middelverdier for 2 prøvestykker.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand



Figur 4-5: Kloridinntrengning i reparasjonsmørtler ved 119 døgn, etter 90 døgn i kloridløsning. Hver kurve representerer middelerverdier for 2 prøvestykker.



Figur 4-6 Kloridinntrengning i reparasjonsmørtler ved 209 døgn, etter 180 døgn i kloridløsning. Hver kurve representerer middelerverdier for 2 prøvestykker.

Iht. NS-EN 13396 skal kun sjikt 0-2, 4-6 og 8-10 mm analyseres for kloridinnhold, og standarden beskriver ikke hvordan resultatene skal presenteres eller vurderes. I det etterfølgende er resultatene presentert på to prinsipielt forskjellige måter, hhv:

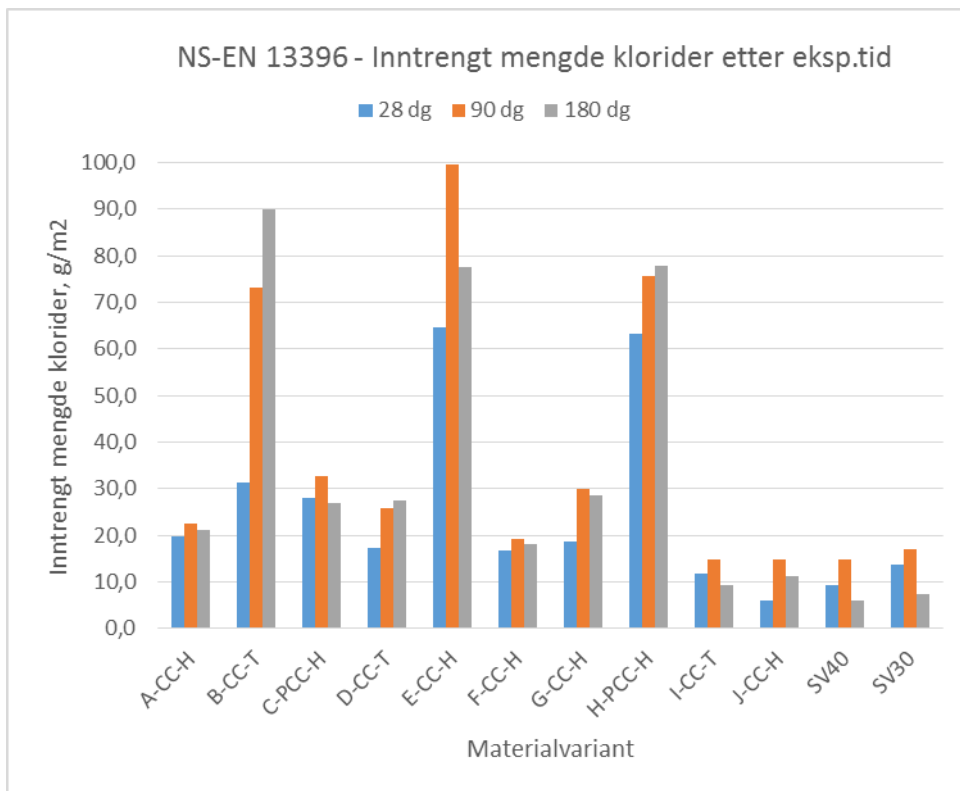
Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

- 1) Totalt inntrengt mengde klorider, for hver prøvingstermin
- 2) Kloriddiffusjonskoeffisient, beregnet etter 180 døgns eksponering

Totalt inntrengt mengde klorider:

Beregnet total inntrengt mengde klorider pr materialvariant og prøvingstermin er vist i Figur 4-7.

Det er forventet at kloridinntrengingen vil øke med økende eksponeringstid, men både kloridprofilene (VEDLEGG 2) og stolpediagrammet i Figur 4-7 viser at det ikke entydig er tilfellet. For alle materialvarianter er det registrert en økning (dog minimal for flere varianter) i inntrengt mengde klorider fra 28 til 90 døgns. For 9 av 12 varianter er kloridinnholdet imidlertid avtagende fra 90 til 180 døgns (igjen marginalt for flere varianter). Kun mørtel B viser et signifikant økende kloridopptak over hele eksponeringsperioden.



Figur 4-7 Inntrengt mengde klorider i de ulike materialvarianter etter 28, 90 og 180 døgns eksponering i 3 % NaCl-løsning. Middelerdi for 2 prøvestykker.

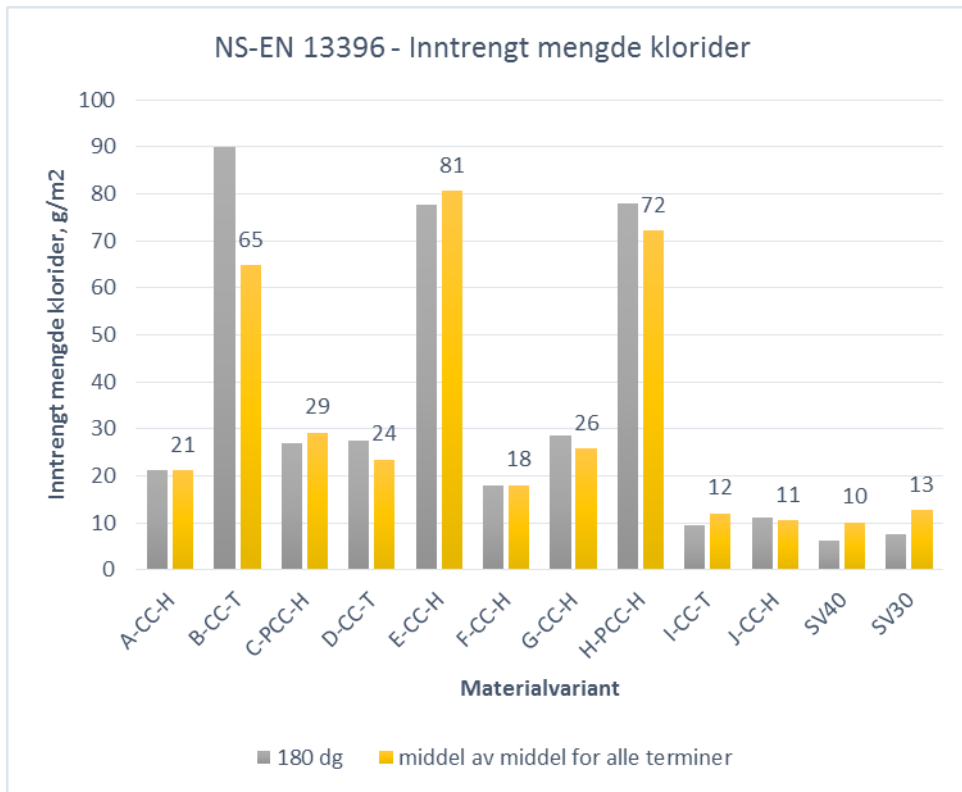
Det er usikkert hva som er årsakene til at resultatene avviker fra det som er forventet. En sannsynlig medvirkende årsak er det lave kloridinnholdet i løsningen (3 % NaCl, dvs. som i sjøvann). Vanligvis akselereres eksponeringen ved å forhøye kloridinnholdet til (langt) over naturlig sjøvannsinhold. NT Build 443 er et eksempel på en slik metode, hvor kloridinnholdet er satt til 16,5 % NaCl. Lavt kloridinnhold i løsningen gir lavere konsentrasjonsforskjeller og redusert drivkraft i kloriddifusjonen, og dermed mindre kloridinntrenging (spesielt i tette betonger/mørtler) – og kloridresultatene blir mer ømfintlige for spredning. Betongene og flere

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

av mørtlene viser en utvikling i elektrisk motstand over eksponeringsperioden, spesielt fra 57 til 90 døgns alder, hvilket indikerer en økende kloridmotstand. Når kloridløsningen er svak og kloridmotstanden økende er det naturlig at kloridinntrengingen «bremser». En svak kloridløsning vil også være mer ømfintlig for «uttynning» ved at klorider vandrer fra løsningen inn i betong/mørtelprøven. Det er imidlertid utført kontroll av saltkonsentrasjonen i eksponeringsvæsken gjennom forsøket, uten at det er funnet avvik. Det er forøvrig også gjort feilsøk i analyseutstyr og prosedyrer – og det er gjort reanalyser av enkelte støvprøver, både fra 90 døgns- og 180 døgnsseriene. Det er ikke funnet noen feil som kan forklare de uventede resultatene. Kloridkurvene viser imidlertid at det for enkelte materialvarianter, spesielt etter 90 døgns eksponering, skjer en utflating av profilene på unormalt høyt nivå (se Figur 4-4). Ved beregning av inntrengt mengde klorider er det ikke korrigert for dette (det er konsekvent fratrukket en bakgrunnsverdi på 0,02 %), og dette vil gi noe for høye verdier for enkeltprodukter.

De avvikende resultatene gjør det vanskelig å vurdere de ulike materialvariantenes utvikling i kloridmotstand i tidlig alder. Det kan imidlertid gjøres vurderinger av de interne forskjellene i kloridinntrenging mellom de ulike materialer. Det naturlige ville vært å ta utgangspunkt i kloridsituasjonen etter 180 døgns eksponering, dette er også gjort ved beregning av kloriddiffusjonskoeffisienter (se etterfølgende beregninger). Når de gjelder inntrengt mengde klorider, så kan et alternativ være å vurdere middelveidene for de tre prøvingstidspunkt. Begge varianter er vist i Figur 4-8. Som det fremgår er det små forskjeller mellom de to datasettene. Middelveidene av alle terminverdier er angitt over de høyre stolpene, og det er disse som er benyttet i de etterfølgende vurderinger av inntrengt mengde klorider.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand



Figur 4-8 Inntrengt mengde klorider i de ulike materialvariantene. Grå stolper angir middelverdier bestemt etter 180 døgns eksponering i 3 % NaCl-løsning. Gule stolper angir middelverdier for alle prøvingsterminer (etter 28, 90 og 180 døgns eksponering)

Referansebetongene ligger blant materialvariantene med lavest kloridinntrengning, sammen med mørtelproduktene I og J (10–13 g/m²). Mørtlene B, E og H peker seg ut som produktene med de høyeste verdiene for kloridinntrengning (hhv. 65, 81 og 72 g/m²). De resterende mørtlene har en kloridinntrengning varierende fra 18 (mørtel F) til 29 g/m² (mørtel C).

Kloriddiffusjonskoeffisient:

Inntrengt mengde klorider gir ikke alltid riktig bilde av et materiales motstandsevne mot kloridinntrengning. Formen på kloridkurvene er også av betydning, og bratte kurver er normalt uttrykk for høyere kloridmotstand enn flate kurver.

Vanligvis beregnes en kloriddiffusjonskoeffisient 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 uttrykkes oftest 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

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

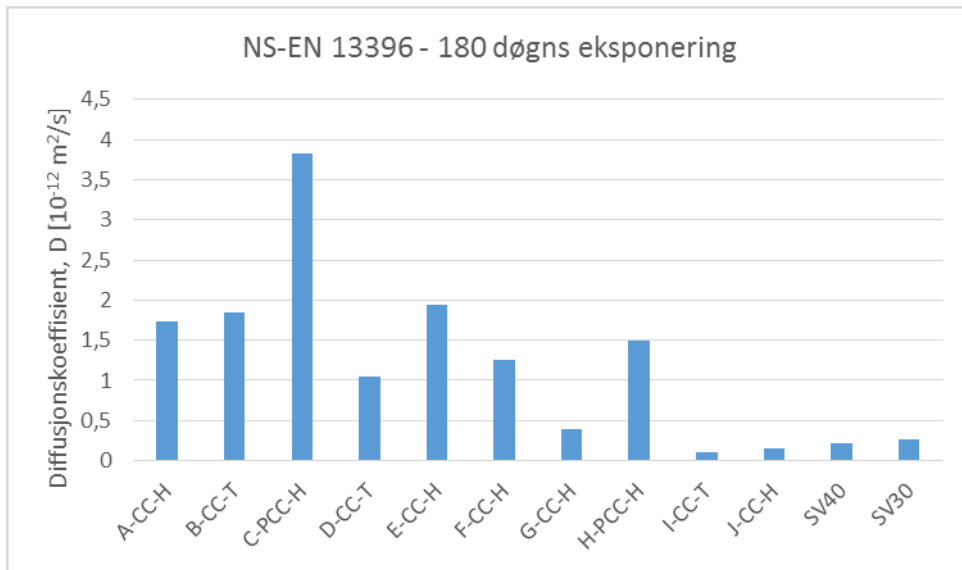
- C_i : Initielt kloridinnhold (bakgrunnsverdi), % av betongvekt
 x : Avstand fra betongoverflata, m
 t : eksponeringstiden, s
 D : kloriddiffusjonskoeffisienten, m^2/s
erf: feilfunksjonen

Diffusjonskoeffisienten, D , og overflatekonsentrasjonen, C_0 , bestemmes ved å tilpasse ligningen til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse ved minste kvadratots metode (jfr NT Build 443). Det er gjort beregninger for alle prøvestykker, dvs 2 paralleller pr materialvariant, etter 180 døgns eksponering (se VEDLEGG 4). Beregnede middelerverdier for de ulike materialvariantene er gitt i Tabell 4-3. Beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter er vist i Figur 4-9.

Tabell 4-3: Beregnede middelerverdier for C_0 og D for reparasjonsmørtler og referansebetonger, basert på kloridprofiler etter 180 døgns eksponering i 3 % NaCl iht NS-EN 13396

Produkt	C_0 [%]	D [$10^{-12} m^2/s$]
A-CC-H	0,21	1,74
B-CC-T	0,82	1,84
C-PCC-H	0,21	3,82
D-CC-T	0,33	1,05
E-CC-H	0,74	1,94
F-CC-H	0,19	1,26
G-CC-H	0,60	0,39
H-PCC-H	0,77	1,49
I-CC-T	0,32	0,11
J-CC-H	0,40	0,16
SV 40	0,21	0,22
SV 30	0,20	0,27

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand



Figur 4-9 Kloriddiffusjonskoeffisienter for alle materialvarianter, bestemt etter 180 døgns eksponering i 3 % NaCl-løsning. Middelerverdier for to prøvestykker.

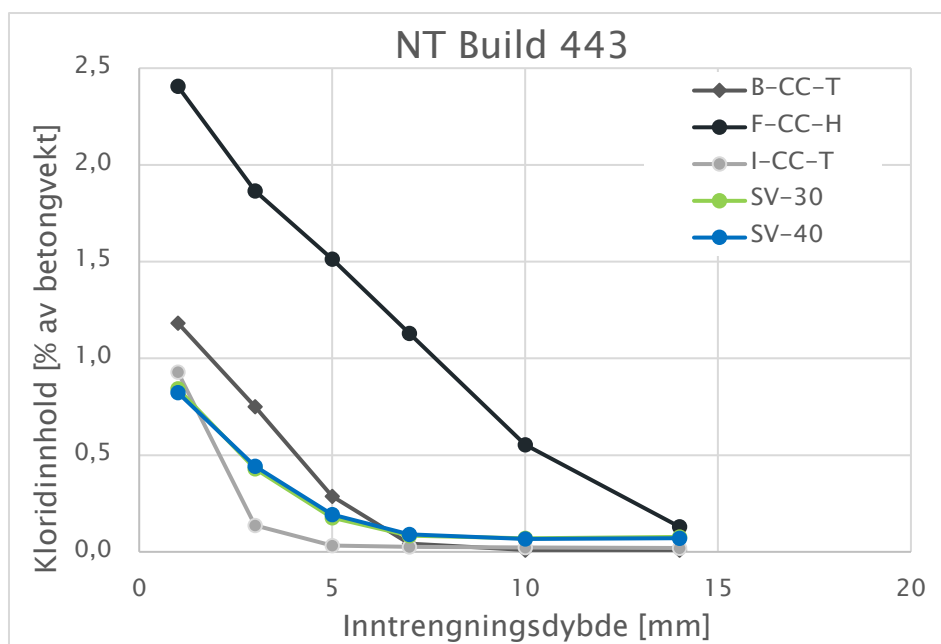
Referansebetongene og mørtelproduktene I og J har de desidert laveste kloriddiffusjonskoeffisientene (0,1–0,3). Mørtel G har også en lav kloriddiffusjonskoeffisient (0,4), mens mørtel C kommer dårligst ut med en diffusjonskoeffisient på 3,8. De resterende mørtlene A, B, D, E, F og H har diffusjonskoeffisienter i området 1,1–1,9.

4.2.1 Prøving iht. NT Build 443

Det ble i tillegg utført kloriddiffusjonsforsøk («bulkdifusjon») etter NT Build 443 (16,5 % NaCl). Dette gjelder for 3 av mørtlene og de 2 referansebetongene. Dette er metoden som tradisjonelt har vært brukt for betong og som det finnes mye erfaringsdata fra.

Kloridprofilene framstilt etter eksponering i 35 døgn (middelerverdier pr serie) er vist i Figur 4-10. Basert på målte kloridprofiler er det beregnet en diffusjonskoeffisient, D, og en overflatekonsentrasjon, C_0 , for alle prøvestykker (se VEDLEGG 3). Deretter er det beregnet middelerverdier for hver materialvariant, se Tabell 4-4 og Figur 4-11.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand



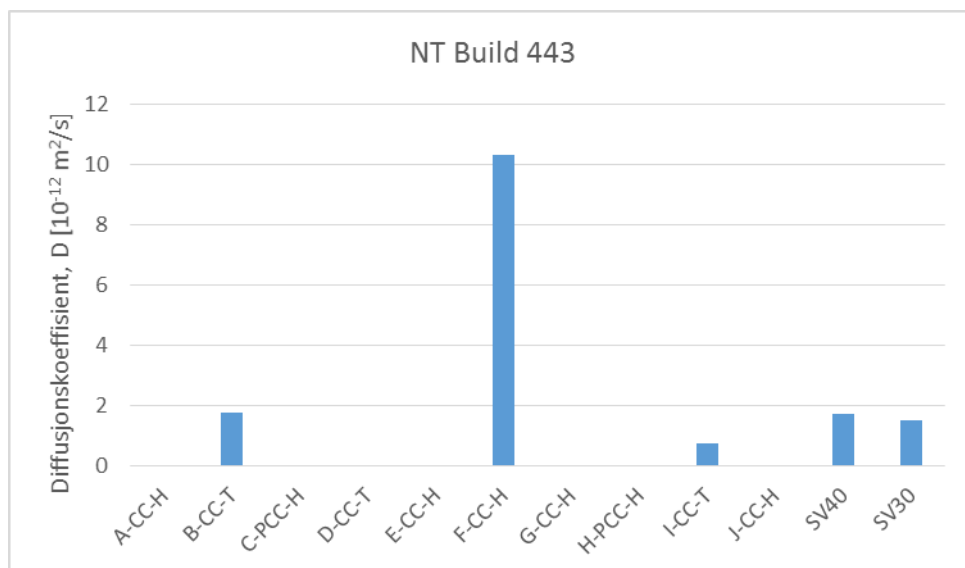
Figur 4-10 Kloridinntrenging, NT Build 443, basert på middelveier for tre paralleller

Beregningene av parameterene C_0 og D etter metode NT Build 443 er gitt i VEDLEGG 3.

Tabell 4-4: Beregnede verdier for C_0 og D for reparasjonsmørtler og referansebetonger, basert på kloridprofiler etter 35 døgns eksponering i 16,5 % NaCl iht NT Build 443

Produkt	C_0 [%]	D [10^{-12} m ² /s]
B-CC-T	2,12	1,74
F-CC-H	2,78	10,30
I-CC-T	1,24	0,74
SV 40	1,16	1,70
SV 30	1,19	1,54

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand



Figur 4-11 Kloriddiffusjonskoeffisienter for enkeltvarianter, bestemt etter 35 døgns eksponering i 16,5 % NaCl-løsning. Middelerdier for tre prøvestykker.

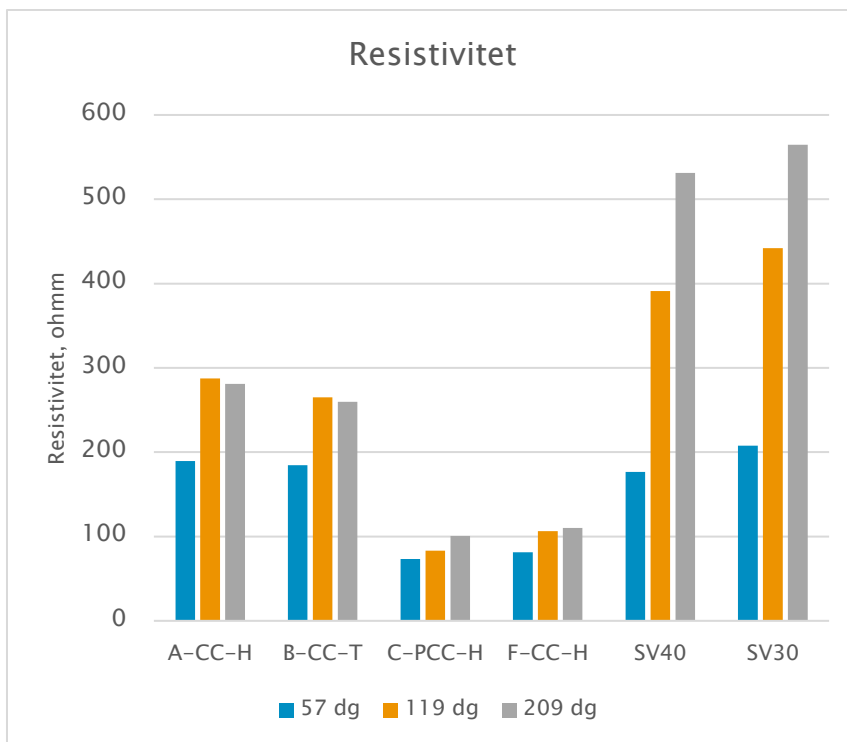
SV-betonger oppnår normalt en diffusjonskoeffisient $< 3 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ved prøving iht. NT Build 443 ved 90 døgns alder. Resultatene for de to referansebetongene er således i nedre område av det vi ville forventet, spesielt med tanke på at eksponeringsalder er 36 døgn (lavere modenhet). Mørtlene B og I viser begge gode resultater, mens mørtel F er i særstilling dårlig.

5 Vurdering av resultatene

Ved sammenligning av resultatene fra de to kloridtestmetodene, ser man at en markant forskjell i rangeringen for mørtlene B og F. Iht NT Build 443 (16,5 % NaCl) rangeres mørtel B på linje med referansebetongene, mens mørtel F er i særklasse dårlig. Iht. NS-EN 13396 (3 % NaCl) rangeres mørtel B blant de dårlige mørtlene og mørtel F blant de medium gode. De to referansebetongene og mørtel I rangeres nokså likt ved begge metoder, mørtel I vurderes som noe bedre enn referansebetongene ved begge prøvingsmetoder (basert på vurdering av kloriddiffusjonskoeffisienter).

En vesentlig forskjell mellom metodene er at mørtelmetoden utføres på støpehud, mens NT Build utføres på sagflate. Dette kan være en forklaring på hvorfor enkelte resultater spriker mellom de to metodene, men det er vanskelig å se at dette kan være hele forklaringen når det gjelder mørtel B og F. Det er nærliggende å trekke inn i vurderingen de svakheter/mulige feilkilder ved NS-EN-metoden som er diskutert i avsnitt 4.2.1 (spesielt knyttet til lav kloridkonsentrasjon i eksponeringsvæsken).

For betong er det funnet en sammenheng mellom resistivitet og kloridinntrengning. Økende resistivitet kan være synonymt med en tettere betong og derav også lavere inntrengning av klorider. Hvis vi ser på resistivitetsutviklingen for mørtel B så er den relativt lik med mørtel A, mens mørtel F har en nokså lik utvikling som mørtel C (se Figur 5-1 hvor resistivitetsmålingene for disse mørtlene er sammenstilt med referansebetongene).

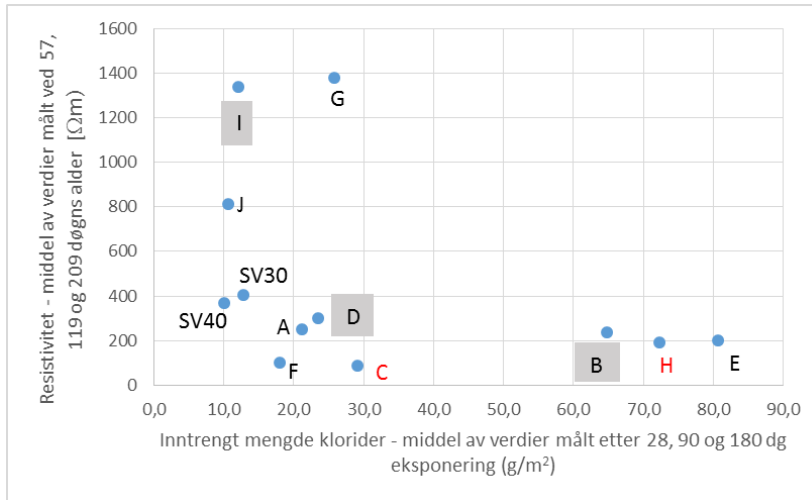


Figur 5-1 Utdrag av Figur 4-2. Merk maksverdi for y-akse er her satt til 600 Ωm

Dersom man legger resistivitetsmålingene til grunn ville man forventet en noe bedre kloridmotstand for mørtel A og B enn for mørtel C og F, og best kloridmotstand for referansebetongene.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Kloridtestmetoden NS-EN 13396 har en eksponeringsperiode fra 29 til 209 døgns betongalder. Ved vurdering av resultatene mot resistivitet er det derfor rimelig å basere seg på middelverdier av resistivitet over perioden. Sammenhengen mellom målt resistivitet og kloridinntrenging bestemt etter NS-EN 13396 (begge som middelverdier av målinger etter 28, 90 og 180 døgns eksponering/57, 118 og 209 døgns alder) er vist i Figur 5-2.

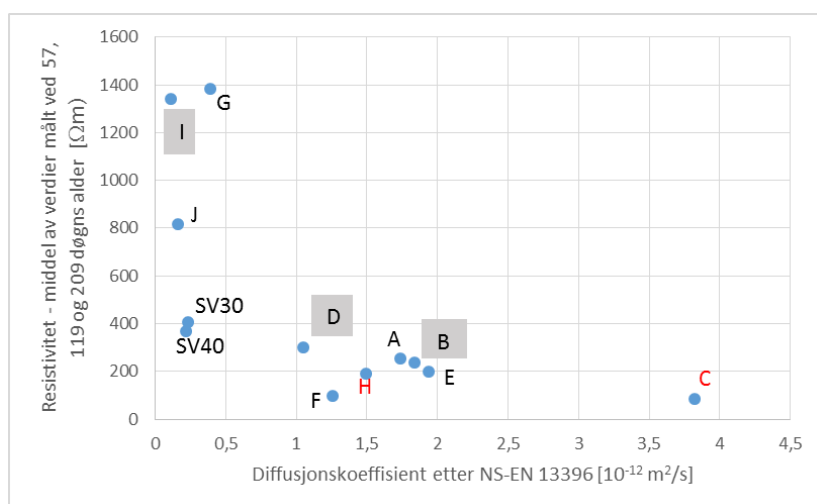


Figur 5-2 Inntrengt mengde klorider (NS-EN 13396) vs. resistivitet. Begge parametre bestemt som middel av verdier målt etter 28, 90 og 180 døgns eksponering (dvs. 57, 119 og 209 døgns alder). Rød bokstav indikerer PCC-mørtel, bokstav med grå bakgrunn indikerer tørrsprøytemørtel.

Figuren viser ingen god relasjon mellom resistivitet og inntrengt mengde klorider, spesielt ikke for mørtler med moderat kloridinntrenging (18–29 g/m²), hvor resistiviteten varierer fra svært lav (86 Ωm) til svært høy (1381 Ωm).

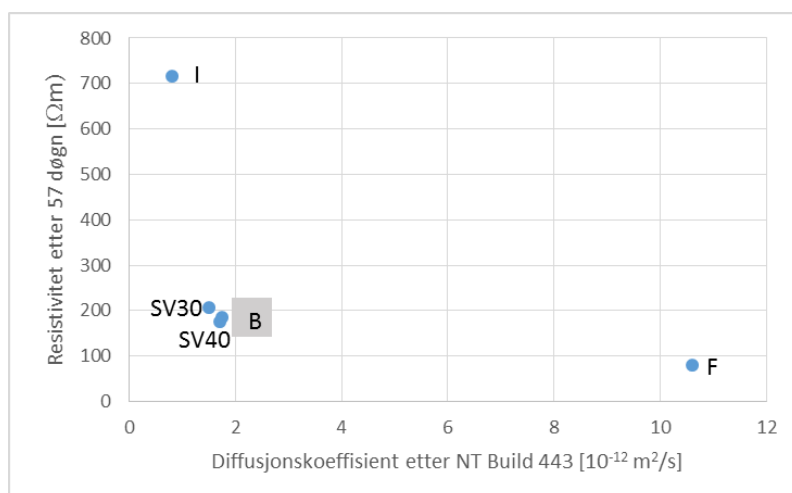
Ser vi imidlertid på relasjonen mellom resistivitet og beregnet kloriddiffusjonskoeffisient (Figur 5-3) er denne noe bedre. Her er det spesielt mørtel F som skiller seg ut, med uventet lav diffusjonskoeffisient i forhold til den svært lave resistiviteten (99 Ωm). Dette til forskjell fra mørtel C som har omtrent samme resistivitet (86 Ωm), men den klart høyeste diffusjonskoeffisienten.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand



Figur 5-3 Diffusjonskoeffisient (etter 180 dg, NS-EN 13396) vs. resistivitet (middell av verdier målt etter 28, 90 og 180 døgn eksponering). Rød bokstav indikerer PCC-mørtel, bokstav med grå bakgrunn indikerer tørresprøytetemørtel.

Kloridtestmetoden NT Build 443 er utført med en eksponeringsperiode fra 36 til 71 døgn betongalder. Ved vurdering av resultatene mot resistivitet er det derfor rimelig å basere seg på målt resistivitet ved 57 døgn. Sammenhengen mellom målt resistivitet og kloriddiffusjonskoeffisient bestemt etter NT Build 443 er vist i Figur 5-4.



Figur 5-4 Kloriddiffusjonskoeffisient (NT Build 443) vs. 57 døgn resistivitet. Kun CC-mørtler. Mørtel B er tørresprøytetemørtel.

Figuren viser en god relasjon mellom resistivitet og kloridmotstand, som forventet basert på tidligere erfaringer med metoden fra betongprøving. Det er imidlertid kun tre mørtler som er prøvd ved denne kloridtestmetoden, så datagrunnlaget er begrenset i forhold til å kunne trekke generelle konklusjoner.

Det er videre verdt å påpeke at kloridmotstanden til mørtlene B og F vurderes helt forskjellig etter denne metoden (NT Build 443) i forhold til NS-EN 13396. Sett i forhold til målt resistivitet er det grunn til å anta at det er resultatene fra metode NT Build 443 som gir best vurdering av mørtlenes kloridmotstand, men grunnlaget er for lite til trekke endelige konklusjoner.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Når det gjelder trykkfasthet, så er de målte verdier i hovedsak høyere enn leverandørens oppgitte minsteverdi. Dette er som forventet ettersom mørtlene i vårt prøvingsprogram ble blandet med et vanninnhold midt i oppgitt min/maks-intervall, mens leverandørens minimumsverdi antas å korrespondere med maksimum vanntilsetning. For mørtel B er det imidlertid oppnådd en trykkfasthet som er 15 % lavere enn oppgitt verdi. Dette er en tørrsprøytemørtel som i vårt program ble blandet og støpt i laboratoriet. Leverandørens målinger kan derimot stamme fra sprøyting i felt. Hvorvidt dette har hatt innvirkning på resultatene er ukjent.

6 Konklusjon

I NS-EN 1504-3, informativt vedlegg B er det angitt en laboratoriemetode (NS-EN 13396) for bestemmelse av kloridmotstand for mørtler. Metoden benytter støpeflaten som eksponeringsflate og lav kloridkonsentrasjon (3 % NaCl) i eksponeringsvæsken. Kloridinntrengingen i mørtlene bestemmes etter eksponering i hhv. 28 døgn, 90 døgn og 180 døgn. Det er ikke angitt retningslinjer for hvordan resultatene skal beregnes eller presenteres. Resultatene fra undersøkelsen viser at kloridene for en rekke produkter, deriblant referansebetongene ikke trenger langt inn. Kloridinntrengingen er presentert på to ulike måter, hhv som total inntrengt mengde klorider og som beregnet kloriddiffusjonskoeffisient. Det er ikke korrelasjon mellom de to parametrene. Det er best korrelasjon mellom resistivitet og diffusjonskoeffisient, og det er lagt vekt på beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter ved vurdering av mørtlene.

Ved å sammenligne resultatene fra prøving iht. NS-EN 13396 og NT Build 443, ble det funnet avvikende resultater mellom metodene, dette både når det gjelder korrelasjon mellom resistivitet og diffusjonskoeffisient og intern rangering av enkelte mørtlers kloridmotstand (mørtel B og F). Sett i forhold til målt resistivitet er det grunn til å anta at det er resultatene fra metode NT Build 443 som gir best vurdering av mørtlenes kloridmotstand, men datagrunnlaget er for lite til trekke endelige konklusjoner.

Ved måling av spesifikk elektrisk motstand, ble det påvist en betydelig tilvekst for flere produkter mellom de to første målingene. Etter ytterligere to måneder begynner tilveksten å flate ut. Dersom resistiviteten skal bestemmes som grunnlag for å vurdere mørtlenes egnethet for bruk i forbindelse med katodisk beskyttelse, vil det være hensiktsmessig å gjennomføre denne type måling når mørtelen har oppnådd høy modenhet.

Betong og sementbaserte materialers egenskaper (mekaniske og bestandighetsmessige) utvikles over tid. Utviklingsforløpet er blant annet avhengig av type bindemiddel. Fra betongprøving er det f.eks. kjent at tilsetning av flygeaske medfører en mer langsom utvikling av både trykkfasthet, resistivitet og kloridmotstand og at utviklingen dermed pågår over en lengre tidsperiode. For betonger med høye flygeaskedoser har det lenge vært diskutert hva som er riktig prøvingstidspunkt, både for bestemmelse av trykkfasthet og bestandighetsmessige egenskaper (kloridmotstand og frost). Når det gjelder reparasjonsmørtler er det ikke gjort systematiske undersøkelser av hverken enkelte egenskaper som kloridmotstand eller sammenhengen mellom bindemiddelsammensetning og utvikling av ulike andre egenskaper. Dette er også vanskelig å gjennomføre i og med at reparasjonsmørtlene leveres som ferdigprodukt med ukjent materialsammensetning.

Det gjennomførte laboratorieprogrammet dekker et stort antall reparasjonsmørtler innenfor mørtelklasse R3 og R4. Resultatene viser at det er stor spredning i de undersøkte egenskaper (resistivitet og kloridmotstand). Undersøkelsene har videre avdekket at det er store svakheter med kloridtestmetoden NS-EN 13369.

Det bør vurderes å sammenstille prøvingsmetodene for betong og mørtel. Dagens standard kloriddiffusjonsmetode for betong (NS-EN 206+NA) benytter sagflate som eksponeringsflate,

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

6 % NaCl-løsning og 90 døgns eksponeringstid. Metoden bør for fremtidige forsøk vurderes i egnethet for mørtler, da dagens aktuelle metode viser flere svakheter.

I undersøkelsen ble det valgt å benytte en middelvei av anbefalt vandosering. For fremtidige undersøkelser bør øvre grense velges. Dette gir det høyeste anbefalte v/b- forhold for hver mørtel og vil da samtidig gi de minst gunstige egenskapene til produktene, samtidig som det skal forventes at produktene fremdeles ligger innenfor sine deklarete nivå.

7 Forslag til videre arbeid

De gjennomførte undersøkelser har gitt et viktig erfaringsgrunnlag i arbeidet med å utvide Statens vegvesens kravspesifikasjoner for reparasjonsmørtler, gitt i Håndbok R762, prosess 88.22. Pr i dag er våre krav i stor grad basert på minimumskrav gitt i NS-EN 1504-3 og omhandler ikke kloridmotstand. For spesifikk elektrisk motstand er det henvist til metode gitt i Håndbok R210 (for betong) og kravene satt lik de grenseverdier som er angitt i NS-EN ISO 12696 (note til pkt 5.10.4). Resultatene har avdekket klare svakheter ved kloridtestmetoden NS-EN 13369 (informativ metode i NS-EN 1504-3), og det er behov for å se på andre aktuelle metoder, herunder nasjonal kloriddiffusjonsmetode for betong beskrevet i NS-EN 206+NA. Denne metoden benytter sagflate som eksponeringsflate, 6 % NaCl-løsning og 90 døgns eksponeringstid.

Når det gjelder spesifikk elektrisk motstand er det behov for en videre detaljering av prøvingsprosedyren. Dette gjelder både prøvestykkenes geometri, herdebetingelser (PCC kontra CC) og prøvingsalder. Det er også naturlig å se på om resistivitetskravene til mørtler som benyttes forut for elektrokjemisk behandling skal justeres.

I et videre arbeid med bestandighetsprøving av reparasjonsmørtler er det nærliggende å inkludere også andre relaterte egenskaper. I NS-EN 1504-3 er det angitt at det for spesielle bruksområder kan stilles krav til kapillær absorpsjon for mørtelklassene R2, R3 og R4. Felles for alle klassene er at det etter denne metoden skal oppnås en verdi $\leq 0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-0,5}$. Det er av interesse å se på om det kan etableres en sammenheng mellom denne egenskapen og de målte verdiene for kloridinntrengning.

Det er flere produktegenskaper som er avgjørende for å oppnå et godt resultat ved mekaniske reparasjoner. Egenskaper som er interessante for videre undersøkelser er mørtlenes evne til å motstå oppsprekking i herdeforløpet og herunder vil både heft mot underlag, svinn/uttørkingssvinn, svelling og termisk utvidelseskoeffisient være egenskaper som bør vurderes.

Ved videre arbeid bør høyeste anbefalte vanddosering benyttes. Dette for å provosere produktene i hvilken grad de tilfredsstillende sine deklarererte verdier. Samtidig bør det utføres parallelle forsøk der den laveste anbefalte vanddoseringen benyttes, for å få bedre kunnskap om hvilket spenn i egenskapene produktene oppnår.

Prøving av tørrsprøytlemørtler er komplisert og faller i utgangspunktet utenfor flere av prøvingsmetodene det henvises til fra NS-EN 1504-3, da prøvingsmetodene er basert på utstøping i form. Det bør arbeides med å finne korrelasjon mellom prøvestykker tilsaget/utboret fra sprøytede prøver og utstøpte prøvestykker.

Undersøkelser for å se på sammenhengen mellom resultater oppnådd på laboratorieproduserte og feltstøpte/-sprøytede prøver er også av interesse.

8 Referanser

[1] *NS-EN 13396:2004 Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner, Prøvingsmetoder, Måling av kloridinntrengning*

[2] *Statens vegvesens Håndbok R210:2016*

[3] *NS-EN 12190: Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner, Prøvingsmetoder – Bestemmelse av trykkfasthet for reparasjonsmørtel.*

[4] *Larsen C.K., Willoughby I. og Kompen R. (2004) Bjørvika senketunnel, betongrådgiving. Trinn 1: Laboratorieundersøkelser. Oppdragsrapport, Statens vegvesen, Teknologiavdelingen, 15.10.2004*

[5] *Bjøntegaard Ø. og Rodum E. (2014) Effekt av flygeaske på betongegenskaper. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015. Statens vegvesen rapport nr. 275, April 2014, p.221*

[6] *Helgestad S.H. Tilstandsvurdering for nyere betongbruer: Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015. Statens vegvesen rapport nr. 579, oktober 2016*

[7] *NT Build 443 (1995): Concrete, hardened: Accelerated Chloride penetration, Nordtest.*

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

VEDLEGG 1 Tabeller med kloridanalyser, NS-EN 13396

Resultatene er middelerverdier av 2 prøvestykker.

Tabell V-1: Kloridinntrengning (% av betongvekt) ved 57 døgn, etter 28 døgn i kloridløsning.

Sjikt, mm	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
Produkt					
A	0,29	0,18	0,05	0,01	0,01
B	0,44	0,25	0,09	0,02	0,01
C	0,30	0,23	0,14	0,05	0,01
D	0,28	0,15	0,04	0,01	0,01
E	0,55	0,45	0,32	0,19	0,08
F	0,24	0,14	0,05	0,03	0,03
G	0,32	0,14	0,03	0,02	0,02
H	0,68	0,46	0,24	0,09	0,08
I	0,21	0,07	0,06	0,08	0,08
J	0,14	0,04	0,01	0,01	0,01
SV 40	0,10	0,08	0,06	0,05	0,03
SV 30	0,12	0,09	0,09	0,07	0,06

Tabell V-2: Kloridinntrengning (% av betongvekt ved 119 døgn, etter 90 døgn i kloridløsning.

Sjikt, mm	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
Produkt					
A	0,26	0,20	0,12	0,03	0,01
B	0,70	0,54	0,34	0,17	0,03
C	0,25	0,22	0,18	0,13	0,08
D	0,31	0,23	0,12	0,02	0,01
E	0,64	0,58	0,49	0,39	0,28
F	0,15	0,13	0,10	0,09	0,07
G	0,32	0,23	0,10	0,07	0,07
H	0,61	0,52	0,38	0,23	0,10
I	0,20	0,09	0,07	0,07	0,08
J	0,21	0,06	0,08	0,07	0,07
SV 40	0,12	0,09	0,09	0,08	0,07
SV 30	0,15	0,12	0,08	0,08	0,08

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

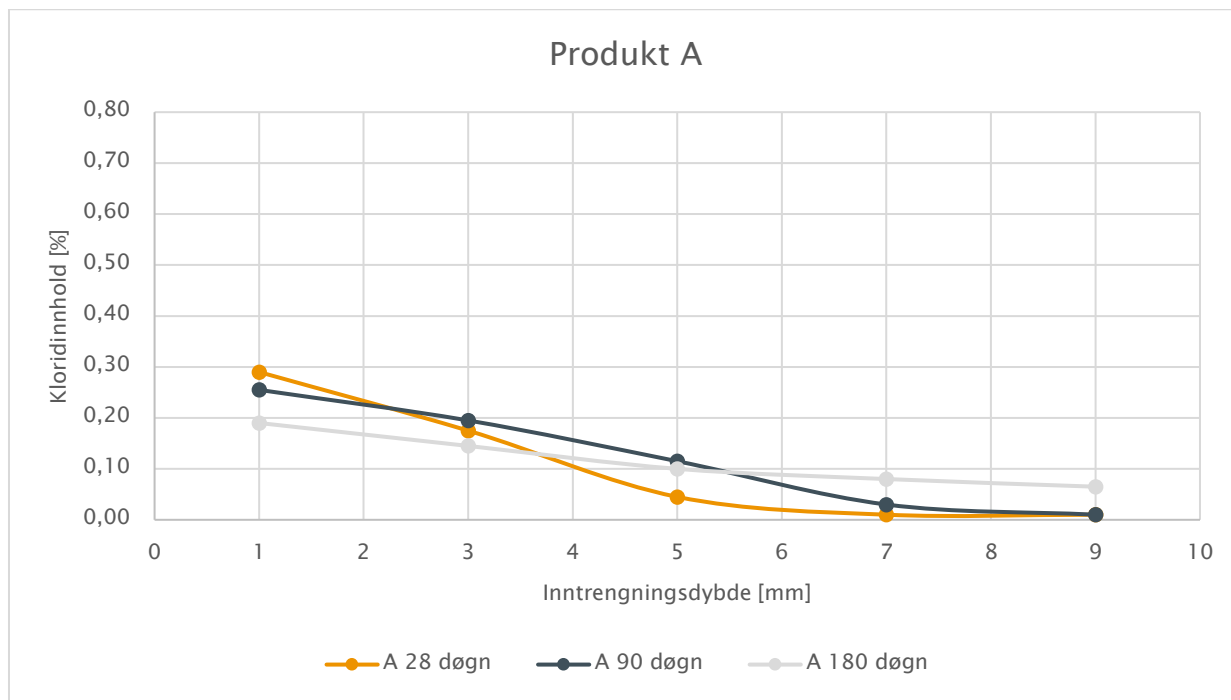
Tabell V-3: Kloridinntrengning (% av betongvekt) ved 209 døgn, etter 180 døgn i kloridløsning.

Sjikt, mm	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10
Produkt					
A	0,19	0,15	0,10	0,08	0,07
B	0,65	0,57	0,44	0,31	0,19
C	0,18	0,17	0,15	0,12	0,09
D	0,24	0,20	0,13	0,08	0,08
E	0,53	0,50	0,41	0,27	0,16
F	0,16	0,13	0,10	0,08	0,05
G	0,33	0,25	0,11	0,04	0,03
H	0,56	0,51	0,39	0,27	0,15
I	0,20	0,05	0,03	0,02	0,03
J	0,22	0,08	0,02	0,02	0,01
SV 40	0,11	0,07	0,03	0,02	0,02
SV 30	0,11	0,08	0,06	0,03	0,03

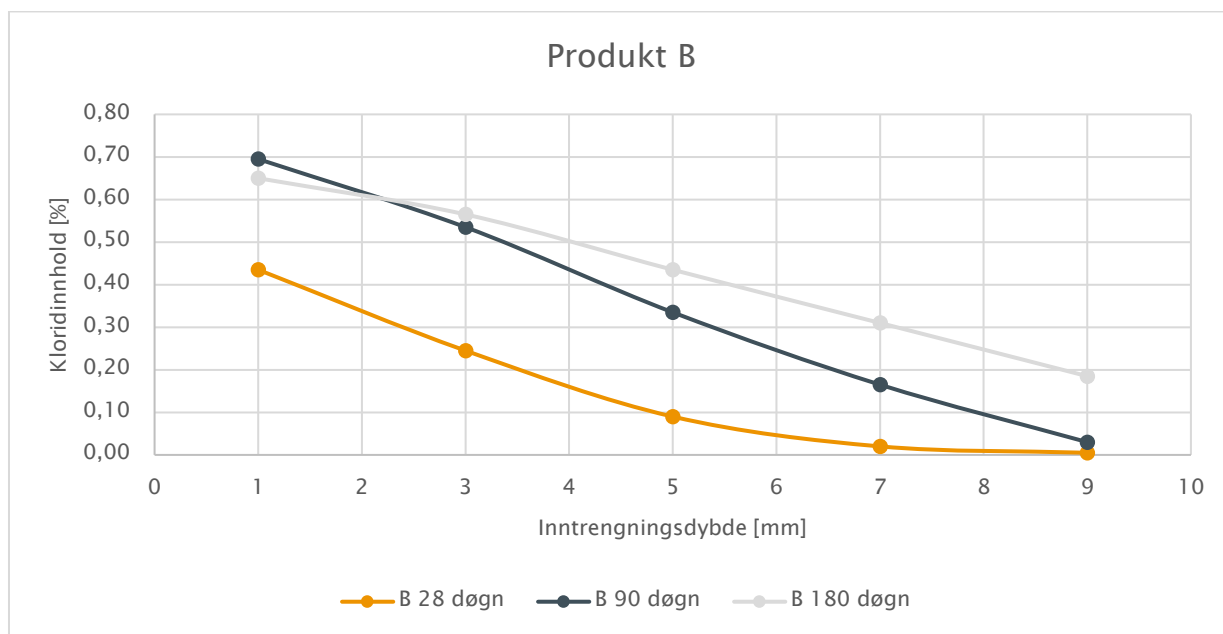
Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

VEDLEGG 2 Kloridprofiler for hver mørtel enkeltvis, NS-EN 13396

Hver kurve representerer middelverdier av 2 prøvestykker.

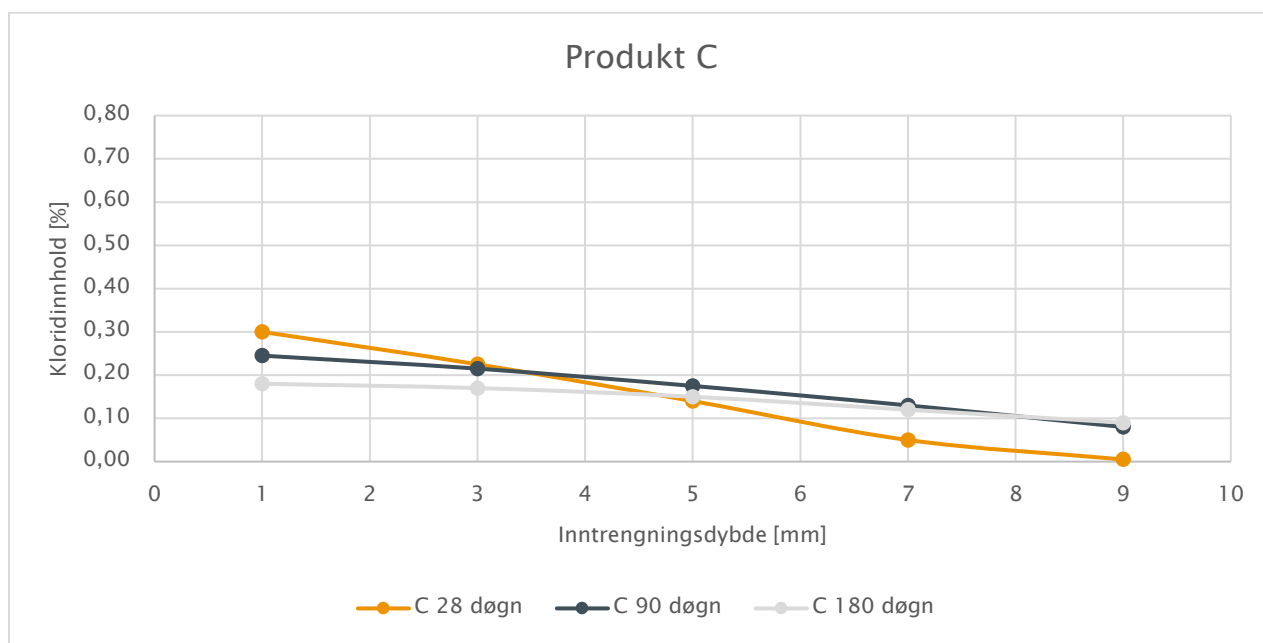


Figur V-1: Kloridinntrengning i mørtel A, utvikling fra 28 dogn til 180 dogn etter NS-EN 13396.

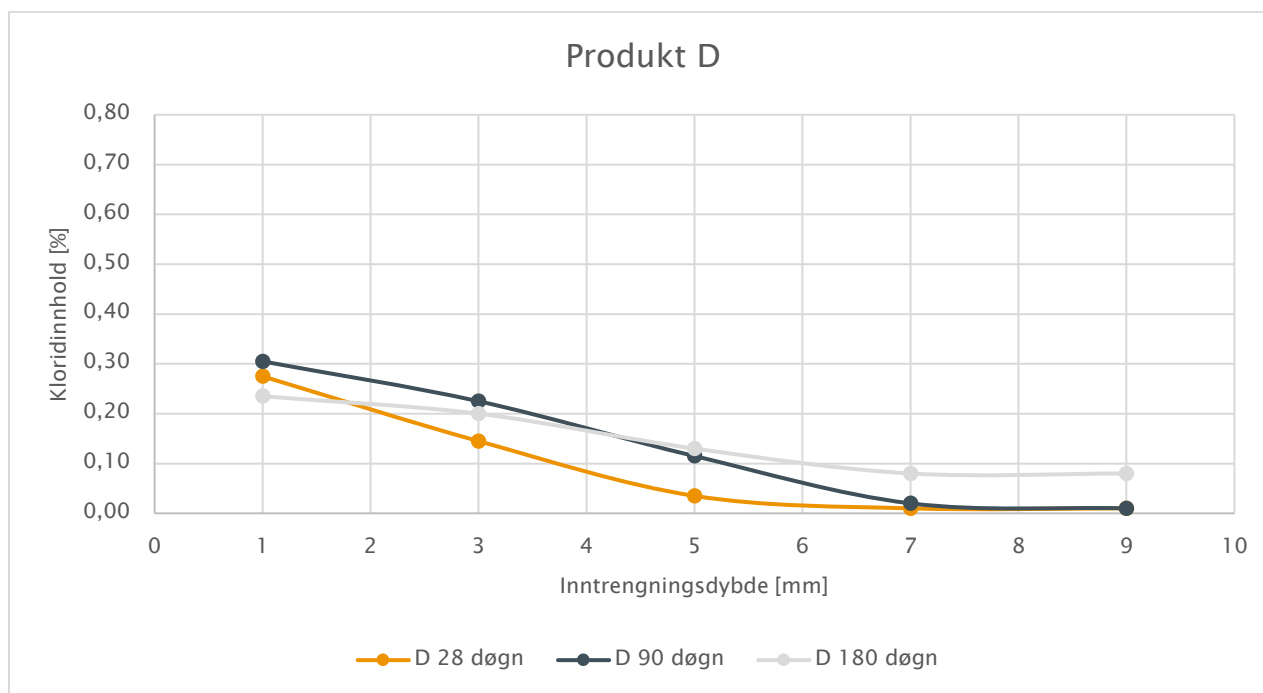


Figur V-2: Kloridinntrengning i mørtel B, utvikling fra 28 dogn til 180 dogn etter NS-EN 13396.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

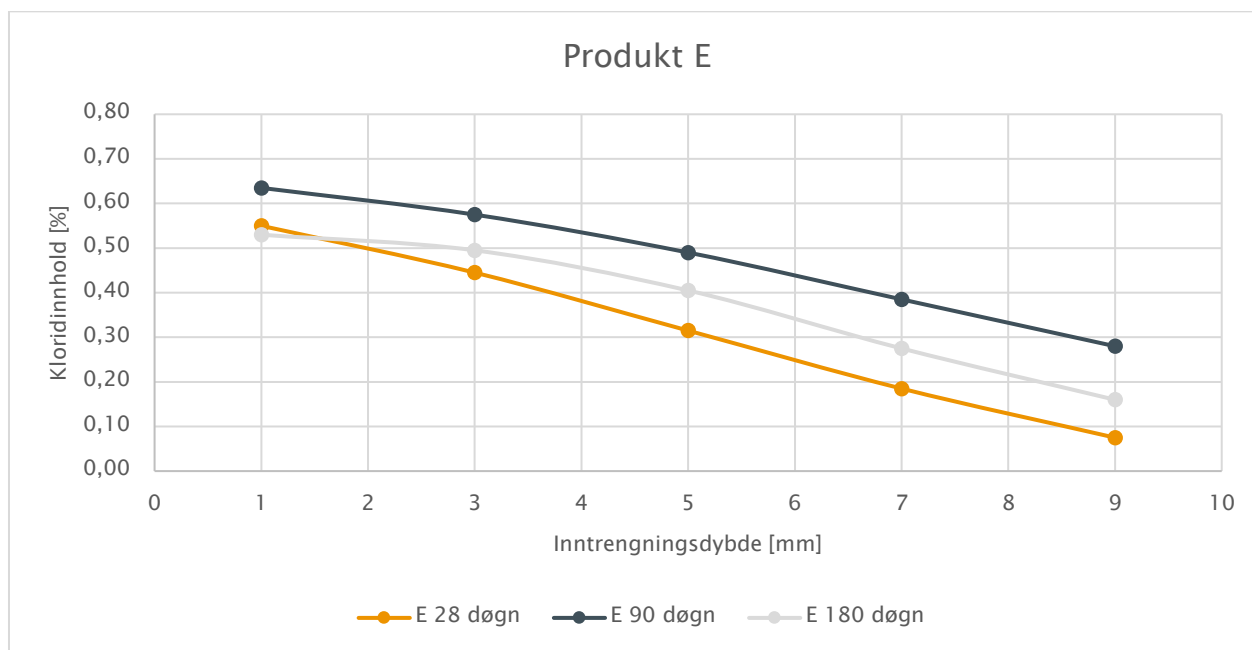


Figur V-3: Kloridinntrengning i mørtel C, utvikling fra 28 dogn til 180 dogn etter NS-EN 13396.

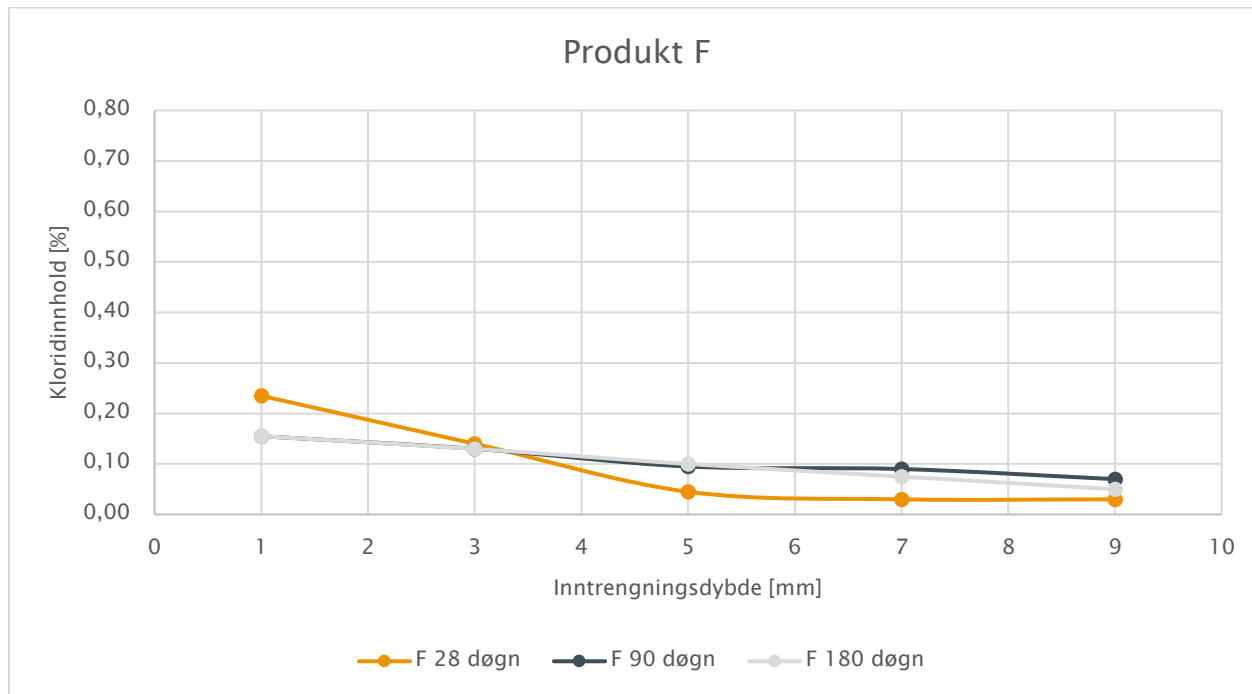


Figur V-4: Kloridinntrengning i mørtel D, utvikling fra 28 dogn til 180 dogn etter NS-EN 13396.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

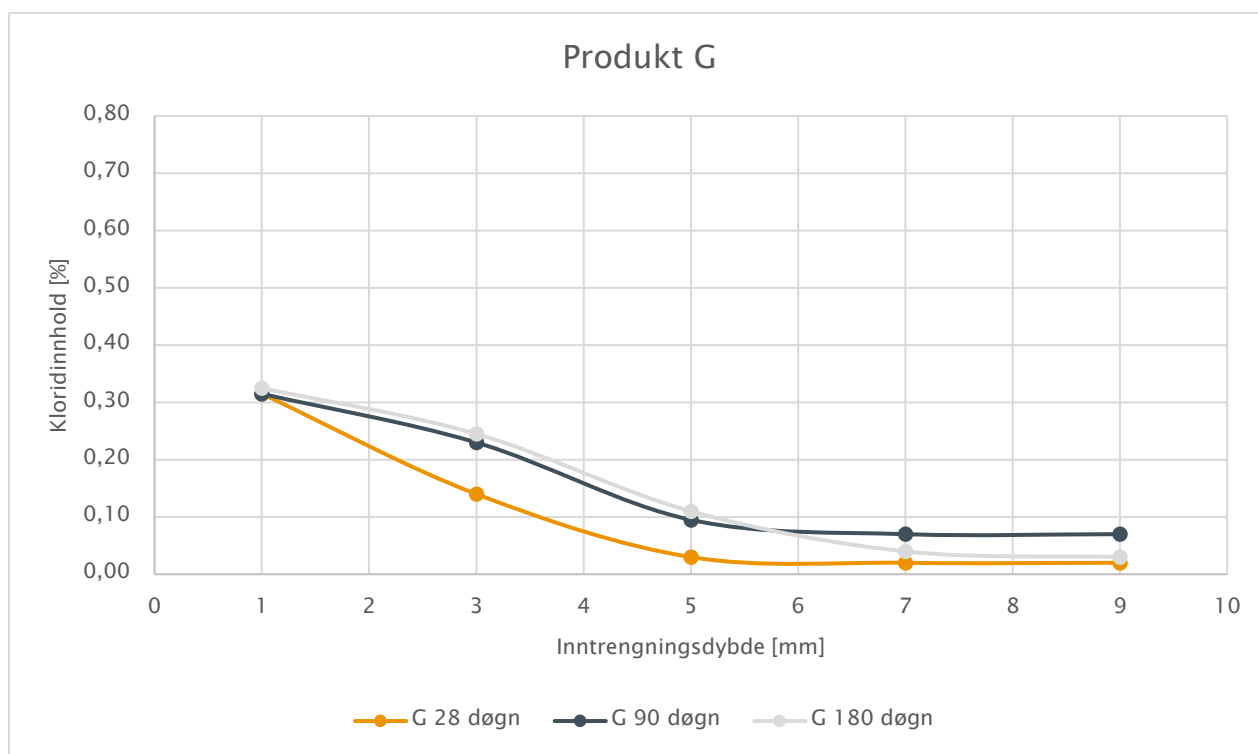


Figur V-5: Kloridinntrengning i mørtel E, utvikling fra 28 dogn til 180 dogn etter NS-EN 13396.

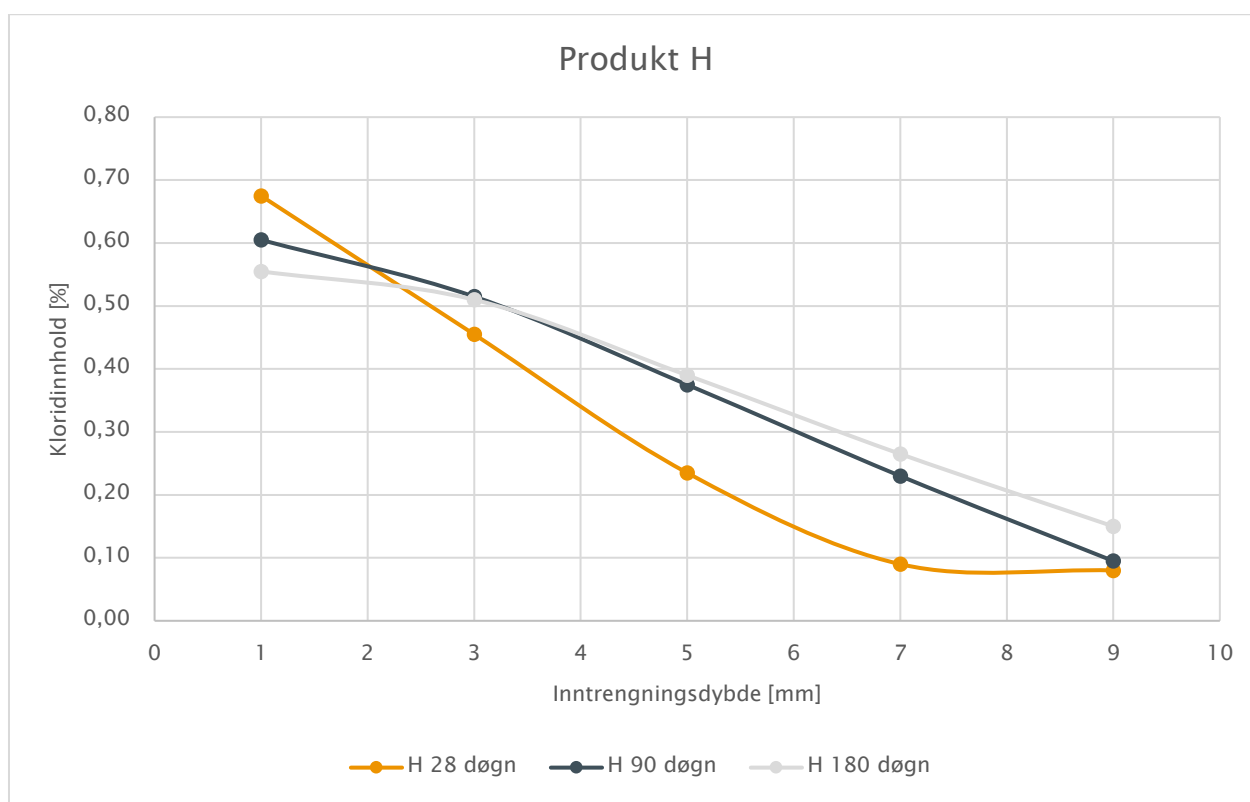


Figur V-6: Kloridinntrengning i mørtel F, utvikling fra 28 dogn til 180 dogn etter NS-EN 13396.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

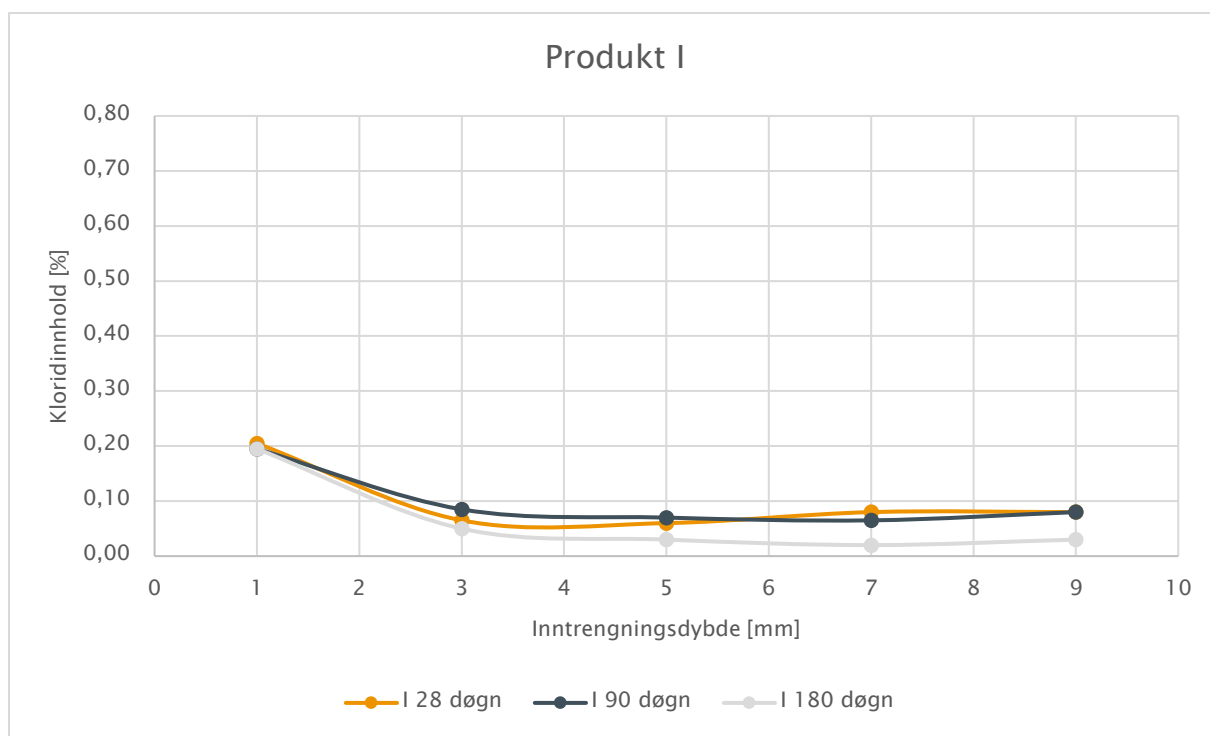


Figur V-7: Kloridinntrengning i mørtel G, utvikling fra 28 dogn til 180 dogn etter NS-EN 13396.

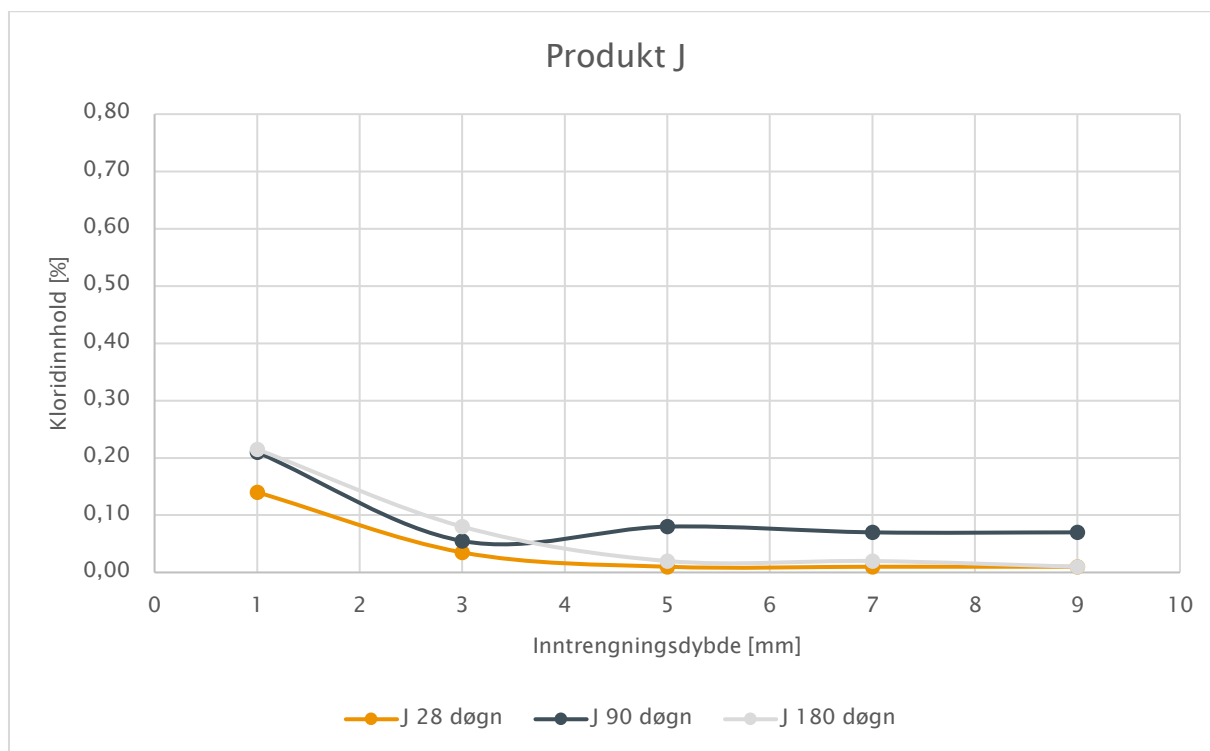


Figur V-8: Kloridinntrengning i mørtel H, utvikling fra 28 dogn til 180 dogn etter NS-EN 13396.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

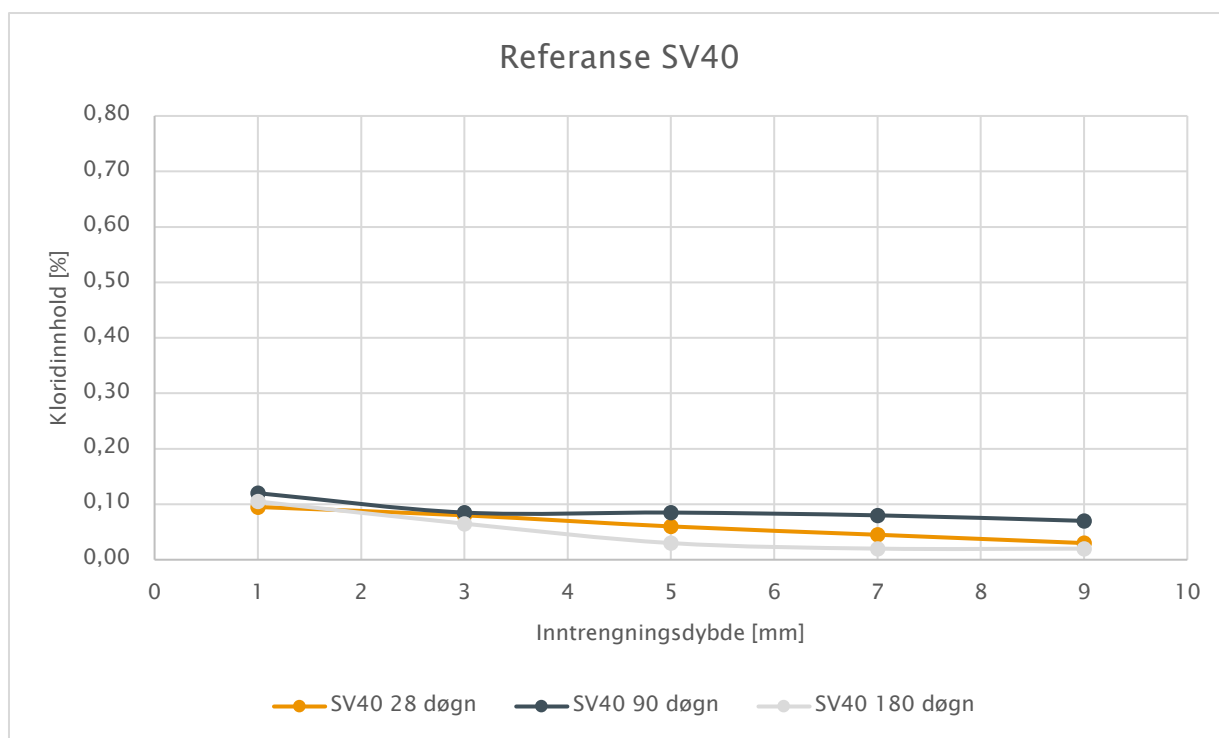


Figur V-9: Kloridinntrengning i mørtel I, utvikling fra 28 døgn til 180 døgn etter NS-EN 13396.

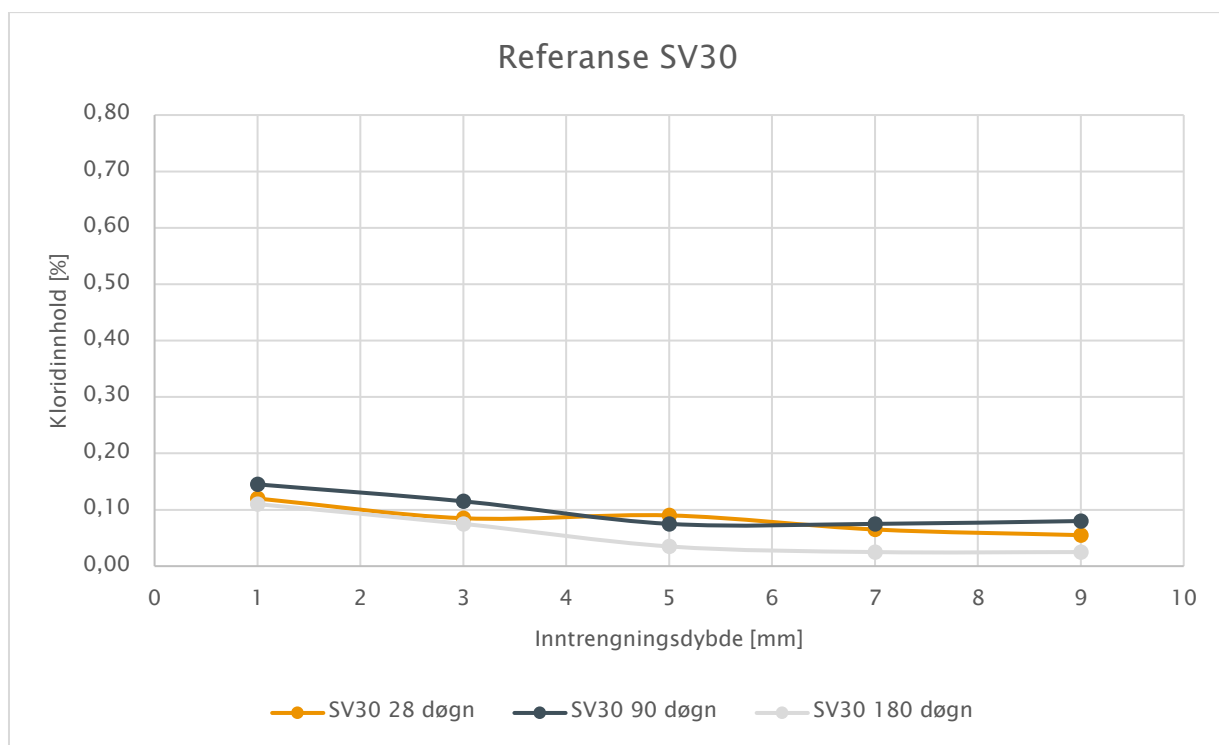


Figur V-10: Kloridinntrengning i mørtel J, utvikling fra 28 døgn til 180 døgn etter NS-EN 13396.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand



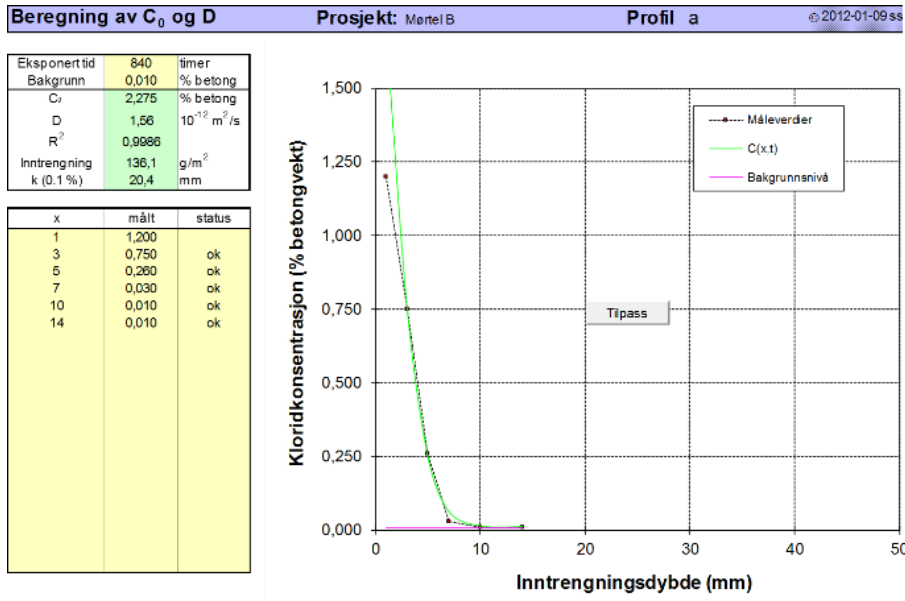
Figur V-11: Kloridinntrengning i referansebetong SV40, utvikling fra 28 døgn til 180 døgn etter NS-EN 13396.



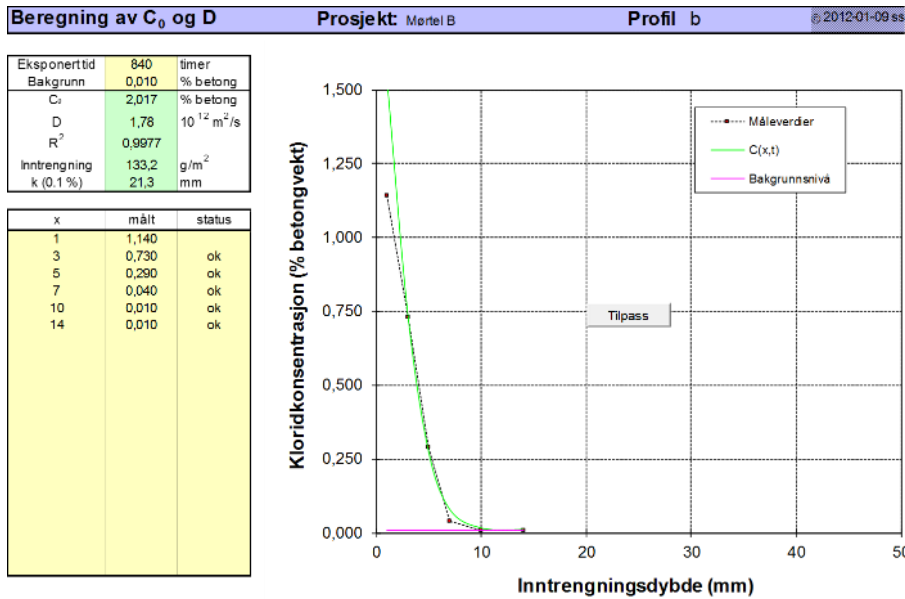
Figur V-12: Kloridinntrengning i referansebetong SV30, utvikling fra 28 døgn til 180 døgn etter NS-EN 13396.

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

VEDLEGG 3 Beregning av diffusjonskoeffisienter, NT Bulid 443

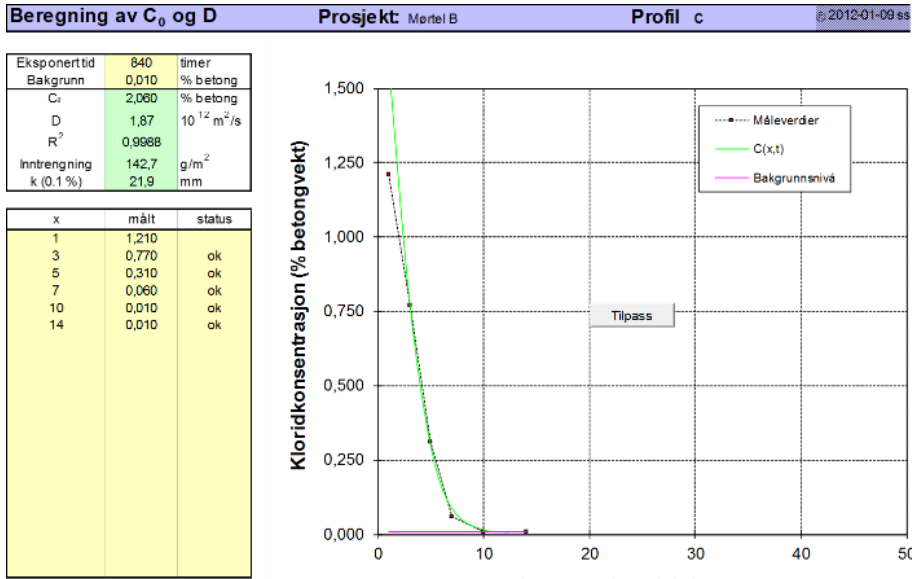


Mørtel B - profil a

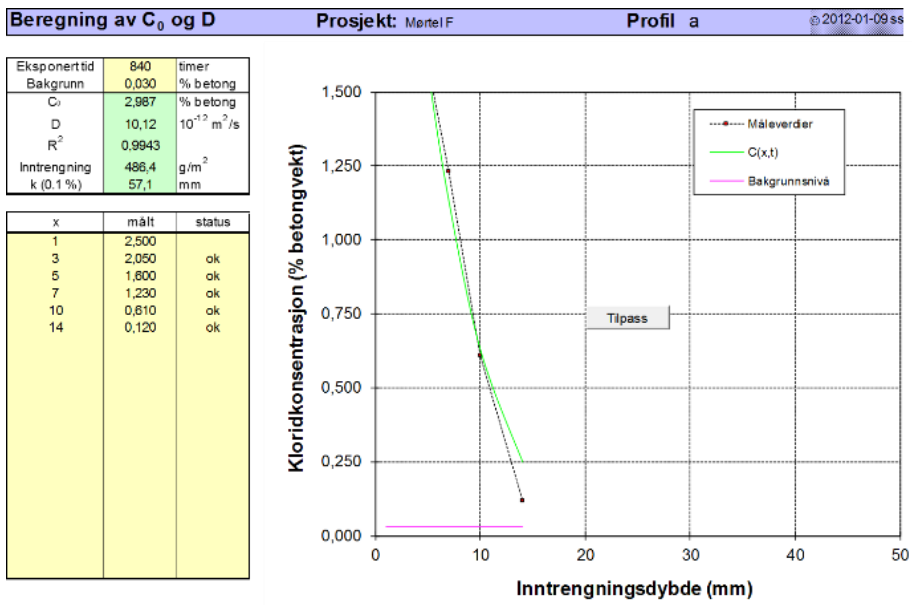


Mørtel B - profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

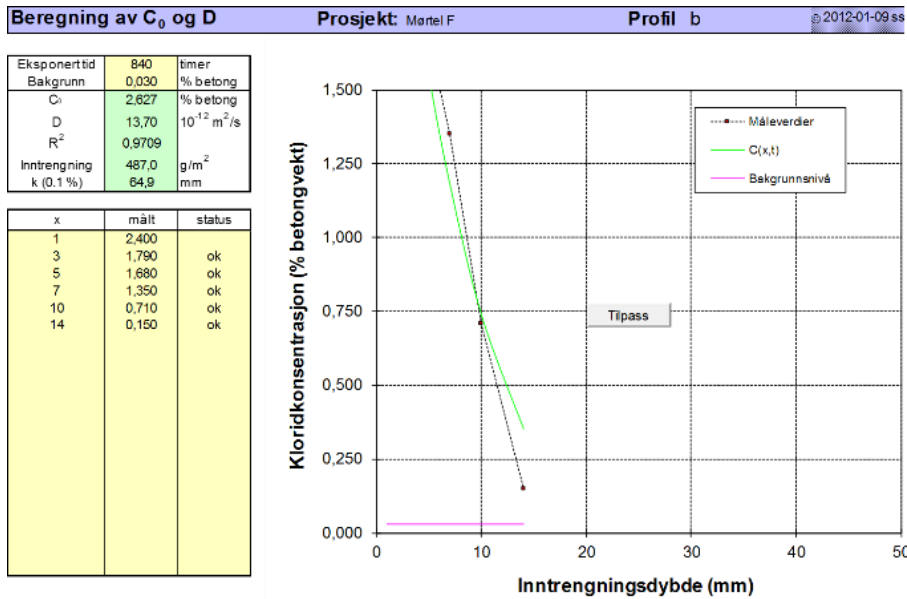


Mørtel B - profil c

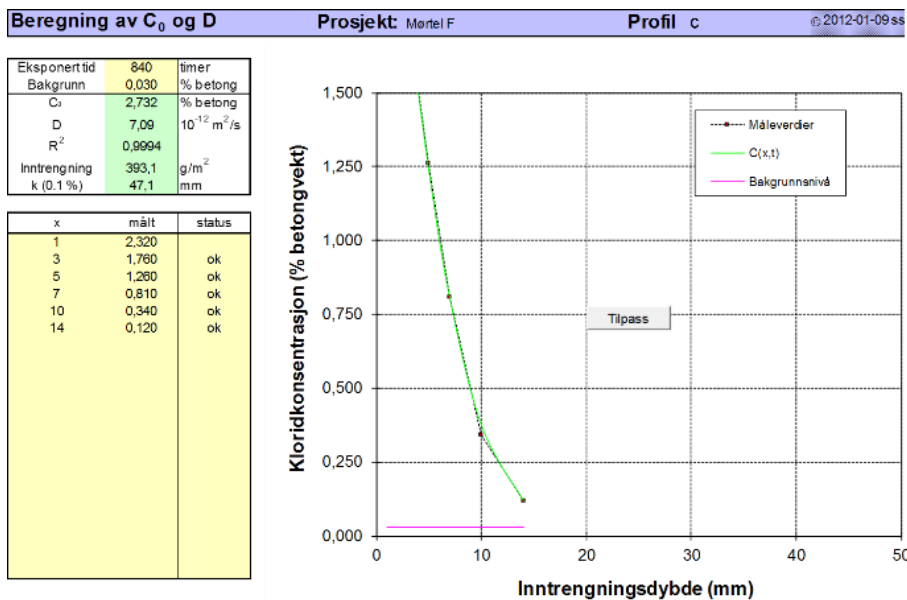


Mørtel F - profil a

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand



Mørtel F - profil b



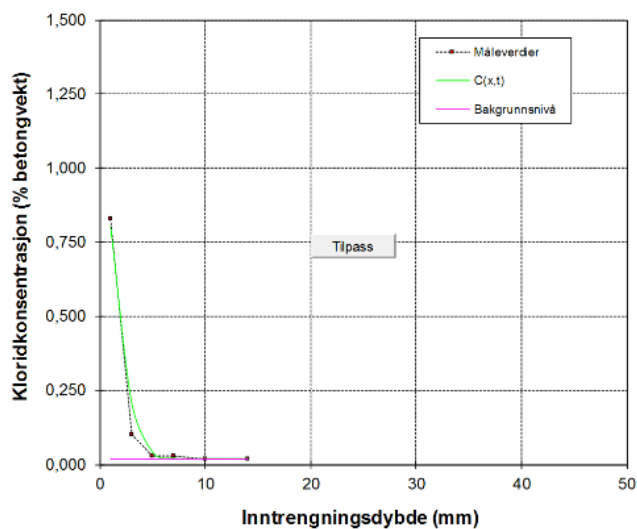
Mørtel F - profil c

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Mørtel I Profil a 2012-01-09 ss

Eksponeertid	840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	1,257	% betong
D	0,73	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9893	
Inntrengning	63,4	g/m^2
k (0.1 %)	12,5	mm

x	målt	status
1	0,830	ok
3	0,100	ok
5	0,030	ok
7	0,030	ok
10	0,020	ok
14	0,020	ok

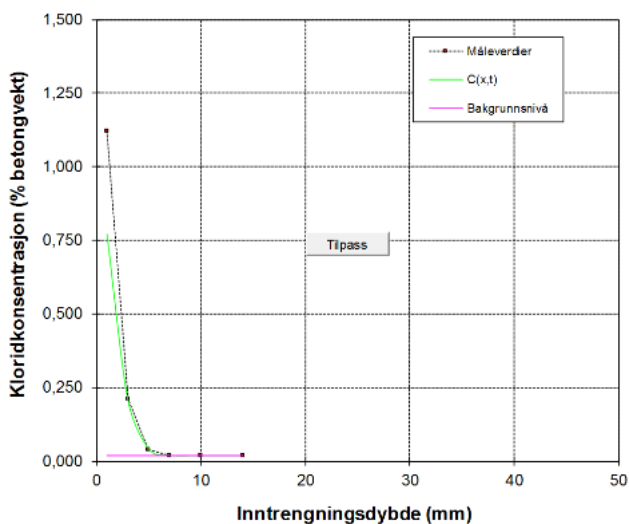


Mørtel I – profil a

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Mørtel I Profil b 2012-01-09 ss

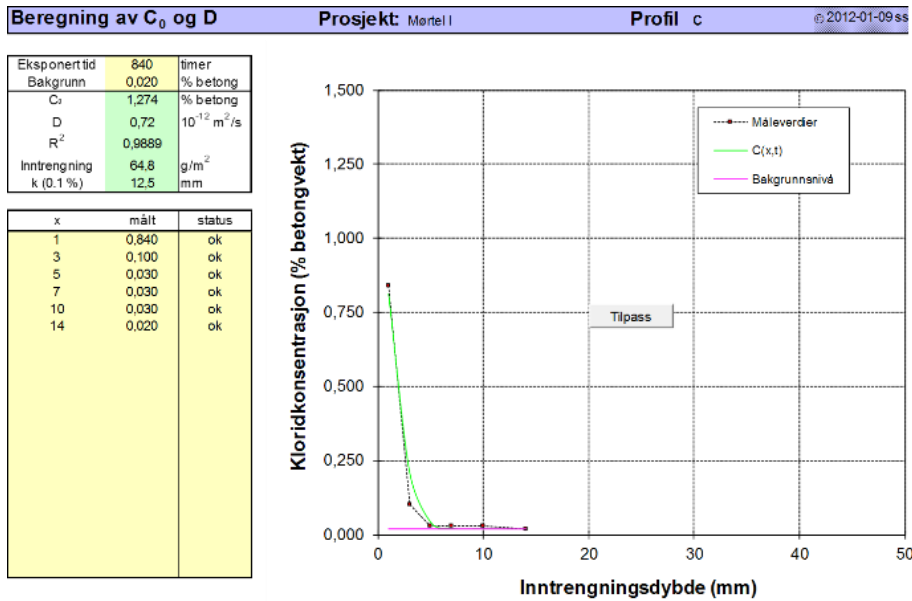
Eksponeertid	840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	1,192	% betong
D	0,76	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9999	
Inntrengning	69,4	g/m^2
k (0.1 %)	12,6	mm

x	målt	status
1	1,120	
3	0,210	ok
5	0,040	ok
7	0,020	ok
10	0,020	ok
14	0,020	ok

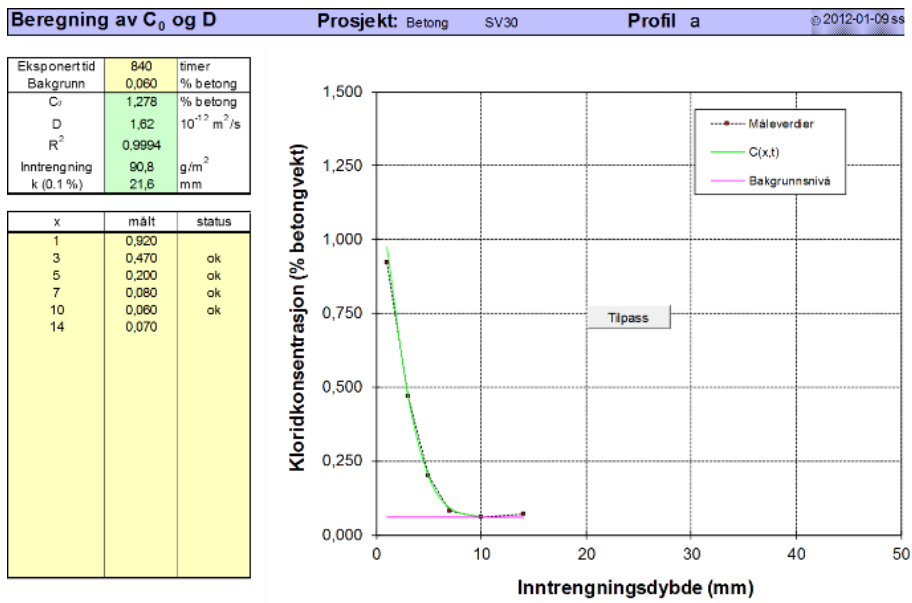


Mørtel I – profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

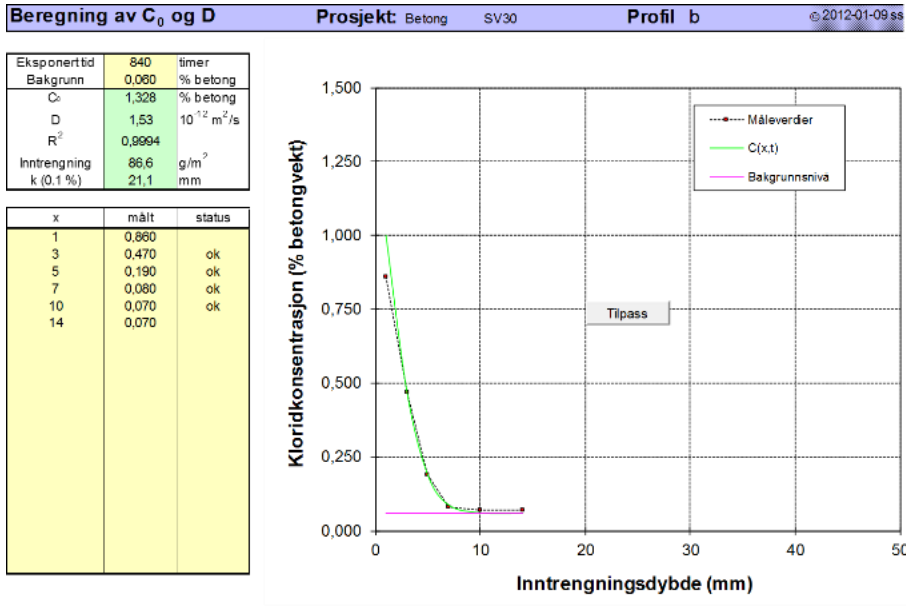


Mørtel I - profil c

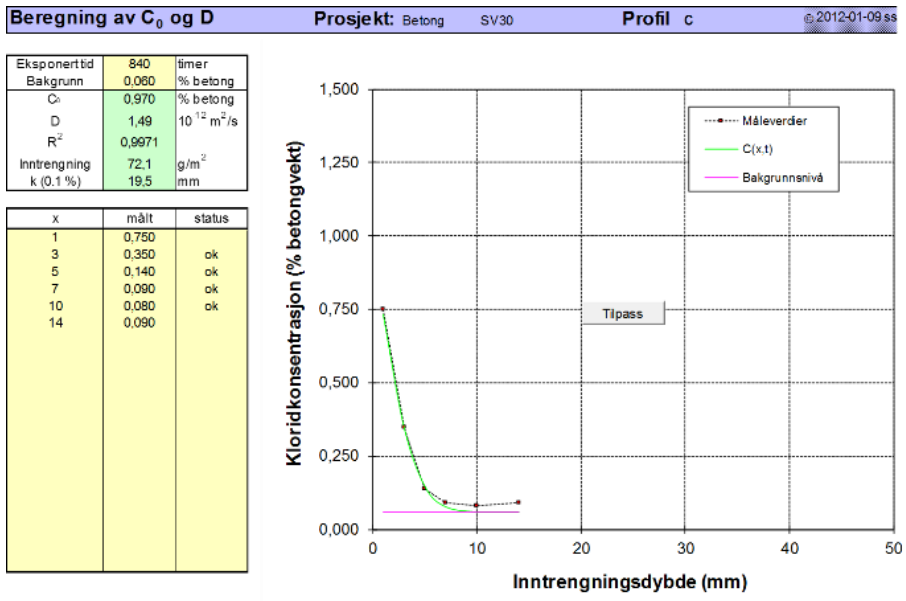


Betong SV30 - profil a

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

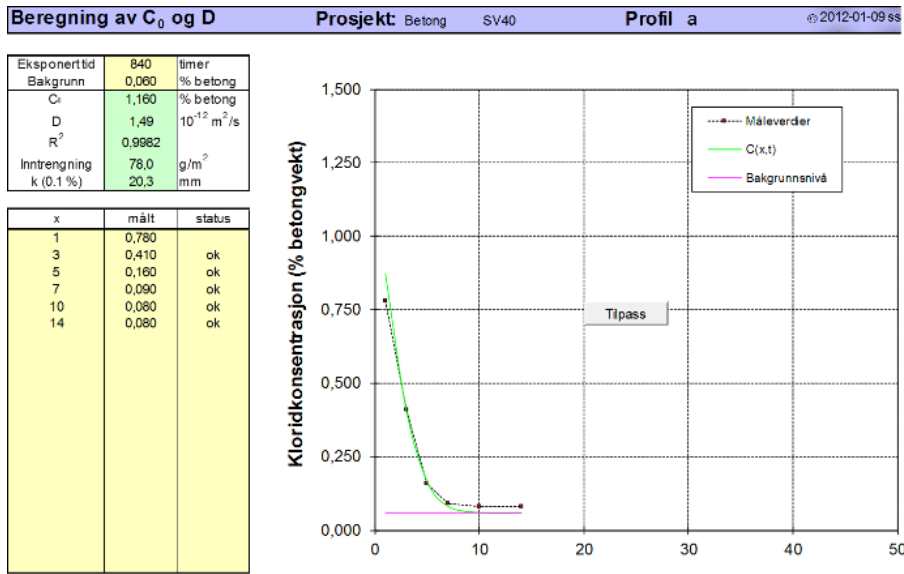


Betong SV30 – profil b

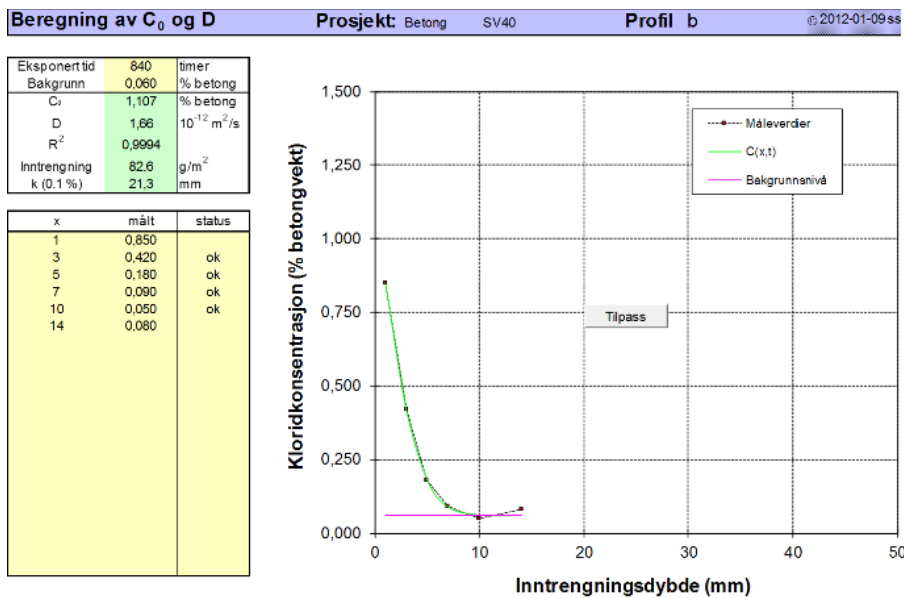


Betong SV30 – profil c

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand



Betong SV40 – profil a



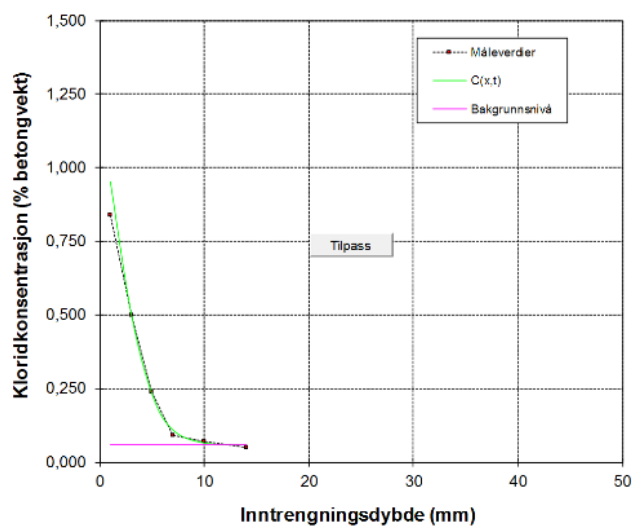
Betong SV40 – profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** Betong SV40 **Profil:** c 2012-01-09ss

Eksponeertid	840	timer
Bakgrunn	0,060	% betong
C_0	1,217	% betong
D	1,95	10^{-12} m ² /s
R^2	0,9981	
Inntrengning	89,6	g/m ²
k (0.1 %)	23,4	mm

x	målt	status
1	0,840	
3	0,500	ok
5	0,240	ok
7	0,090	ok
10	0,070	ok
14	0,050	ok



Betong SV40 – profil c

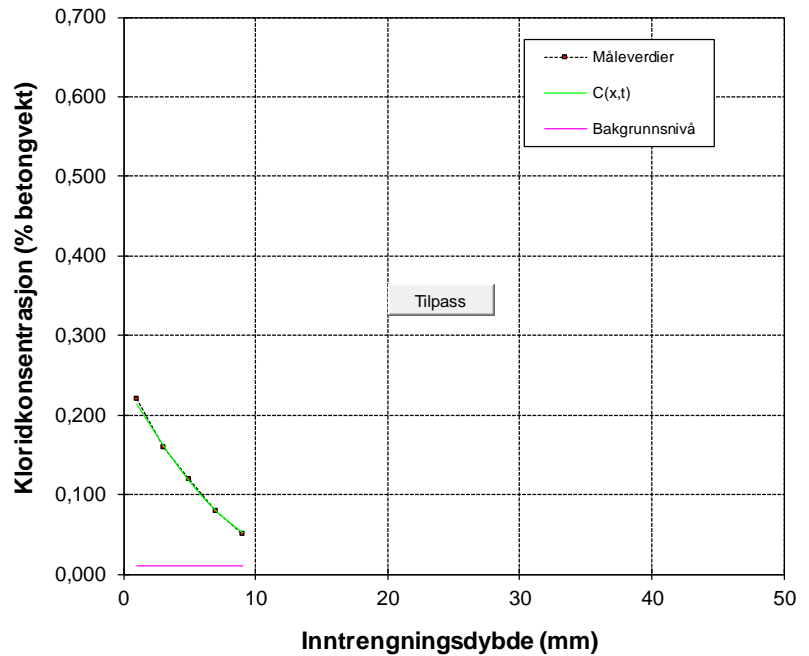
Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

VEDLEGG 4 Beregning av diffusjonskoeffisienter etter 180 dg eksponering, NS-EN 13396

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel A Profil a © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,010	% betong
C_0	0,241	% betong
D	1,48	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9983	
Inntrengning	30,6	g/m^2
k (0.1 %)	8,4	mm

x	målt	status
1	0,220	
3	0,160	ok
5	0,120	ok
7	0,080	ok
9	0,050	ok

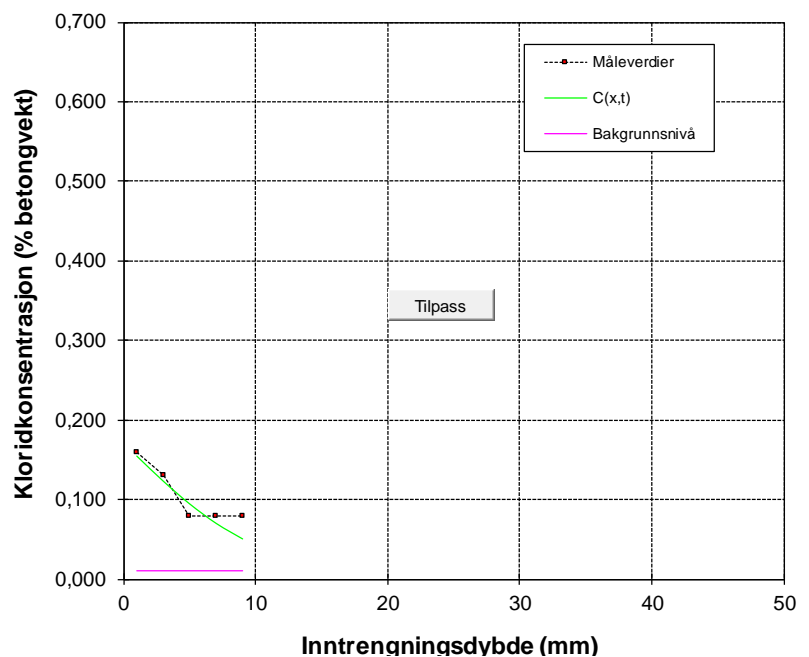


Mørtel A - profil a

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel A Profil b © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,010	% betong
C_0	0,171	% betong
D	2,01	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,8880	
Inntrengning	23,3	g/m^2
k (0.1 %)	6,6	mm

x	målt	status
1	0,160	
3	0,130	ok
5	0,080	ok
7	0,080	ok
9	0,080	



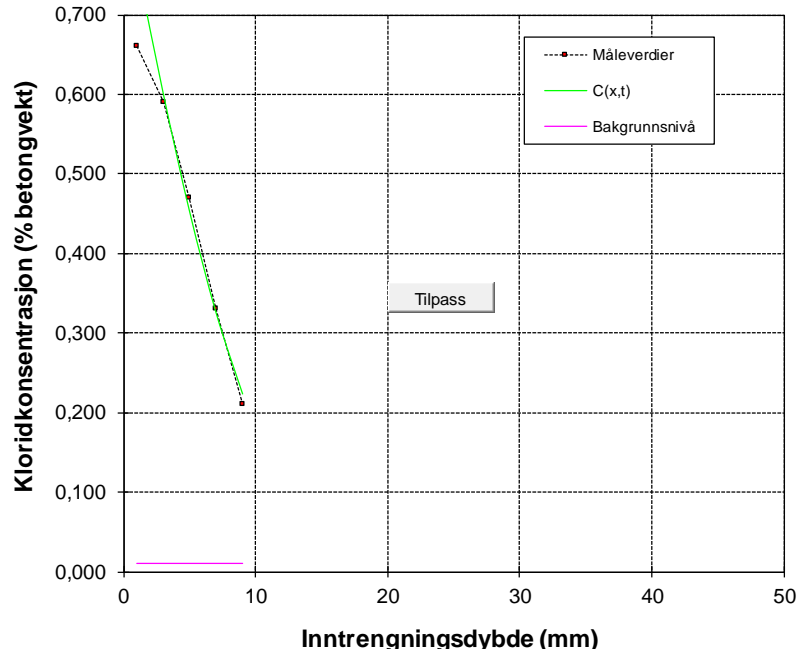
Mørtel A - profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel B Profil a © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,010	% betong
C_0	0,849	% betong
D	2,01	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9961	
Inntrengning	110,6	g/m^2
k (0.1 %)	18,1	mm

x	målt	status
1	0,660	
3	0,590	ok
5	0,470	ok
7	0,330	ok
9	0,210	ok

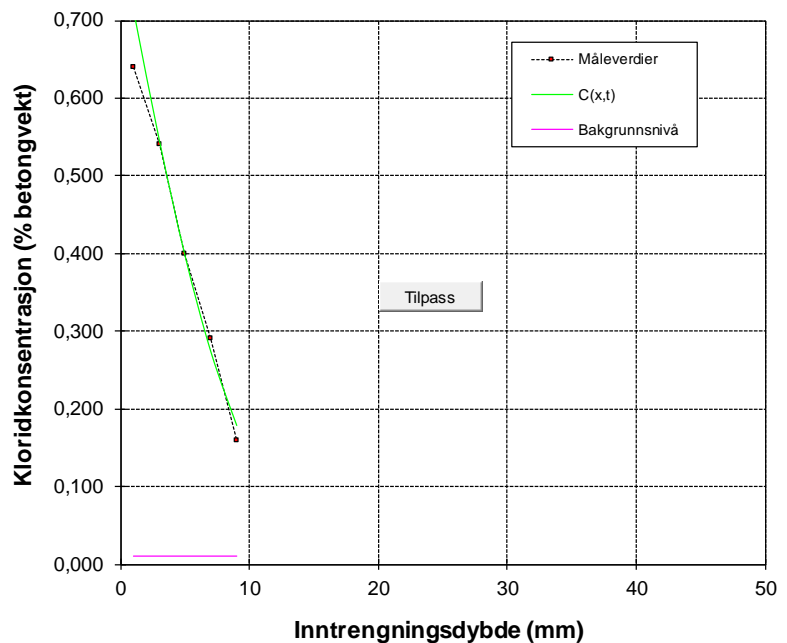


Mørtel B - profil a

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel B Profil b © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,010	% betong
C_0	0,800	% betong
D	1,68	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9958	
Inntrengning	101,4	g/m^2
k (0.1 %)	16,3	mm

x	målt	status
1	0,640	
3	0,540	ok
5	0,400	ok
7	0,290	ok
9	0,160	ok



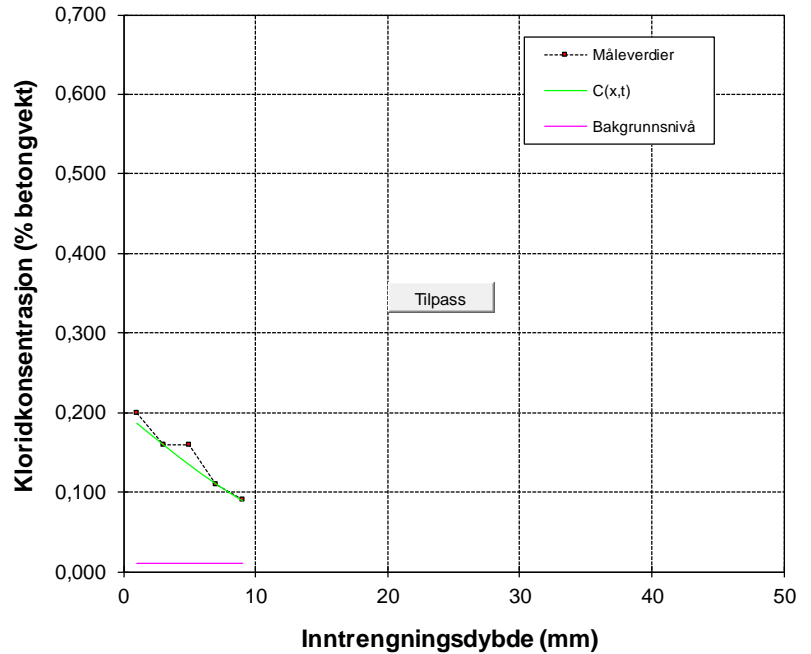
Mørtel B - profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel C Profil a © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,010	% betong
C_0	0,200	% betong
D	3,97	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9999	
Inntrengning	32,6	g/m^2
k (0.1 %)	11,4	mm

x	målt	status
1	0,200	
3	0,160	ok
5	0,160	
7	0,110	ok
9	0,090	ok

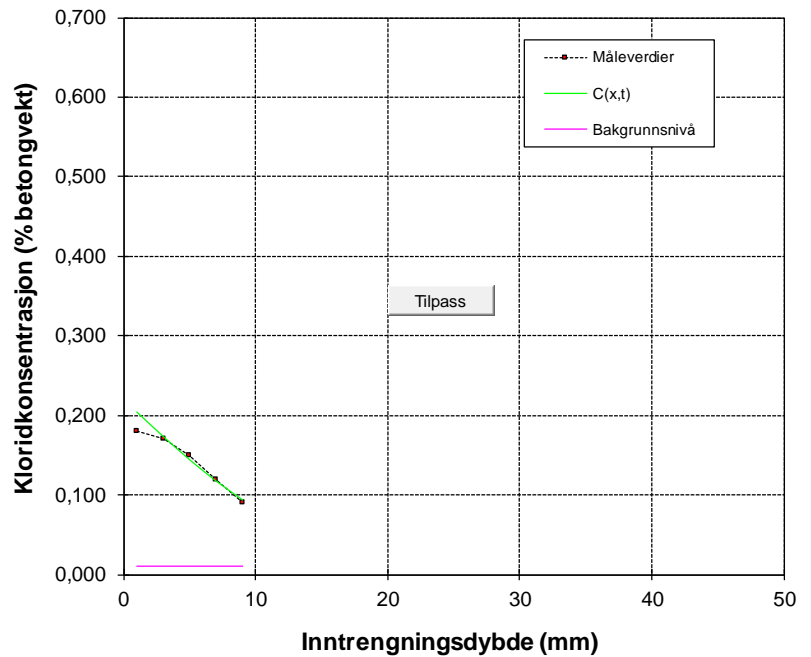


Mørtel C - profil a

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel C Profil b © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,010	% betong
C_0	0,220	% betong
D	3,67	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9911	
Inntrengning	31,6	g/m^2
k (0.1 %)	12,1	mm

x	målt	status
1	0,180	
3	0,170	ok
5	0,150	ok
7	0,120	ok
9	0,090	ok



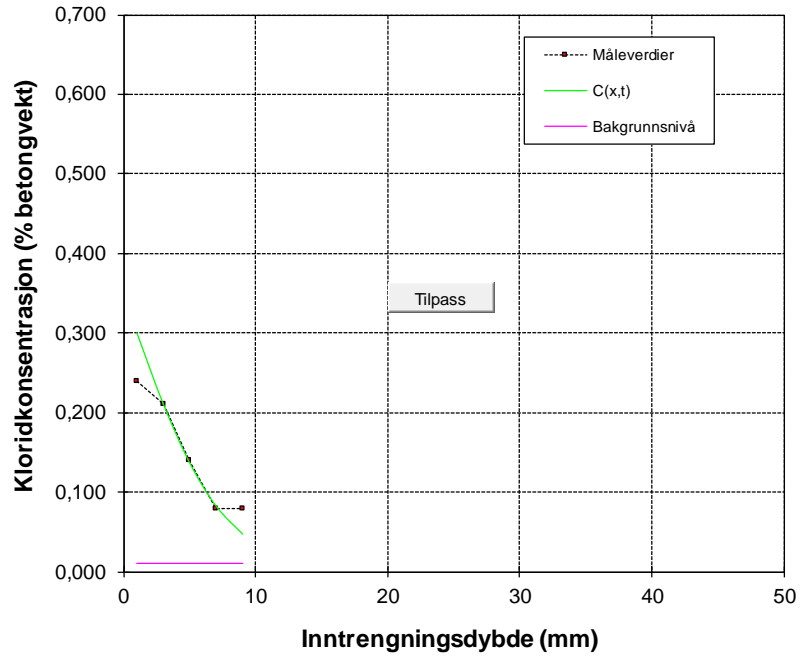
Mørtel C - profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel D Profil a © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,010	% betong
C_0	0,348	% betong
D	1,02	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9990	
Inntrengning	35,8	g/m^2
k (0.1 %)	8,9	mm

x	målt	status
1	0,240	
3	0,210	ok
5	0,140	ok
7	0,080	ok
9	0,080	

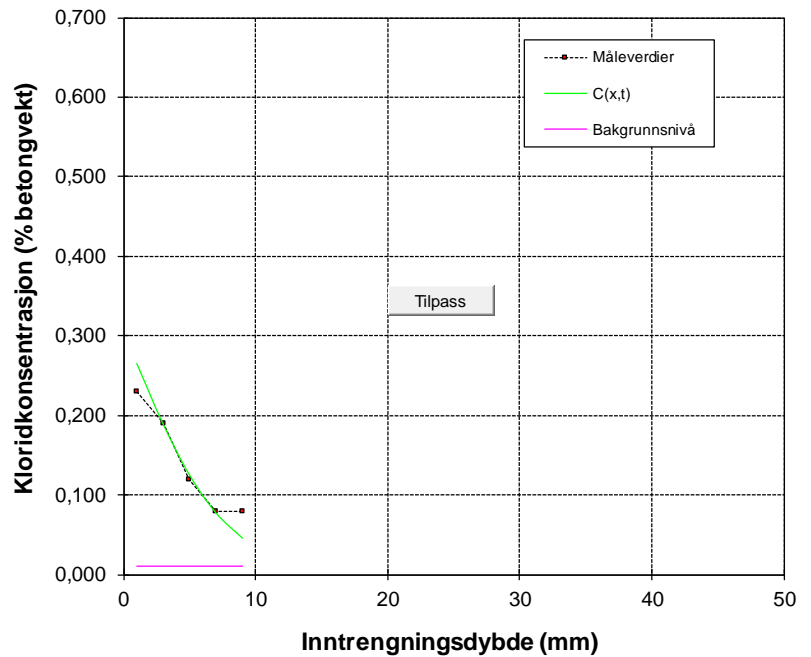


Mørtel D - profil a

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel D Profil b © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,010	% betong
C_0	0,305	% betong
D	1,07	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9974	
Inntrengning	33,1	g/m^2
k (0.1 %)	8,5	mm

x	målt	status
1	0,230	
3	0,190	ok
5	0,120	ok
7	0,080	ok
9	0,080	



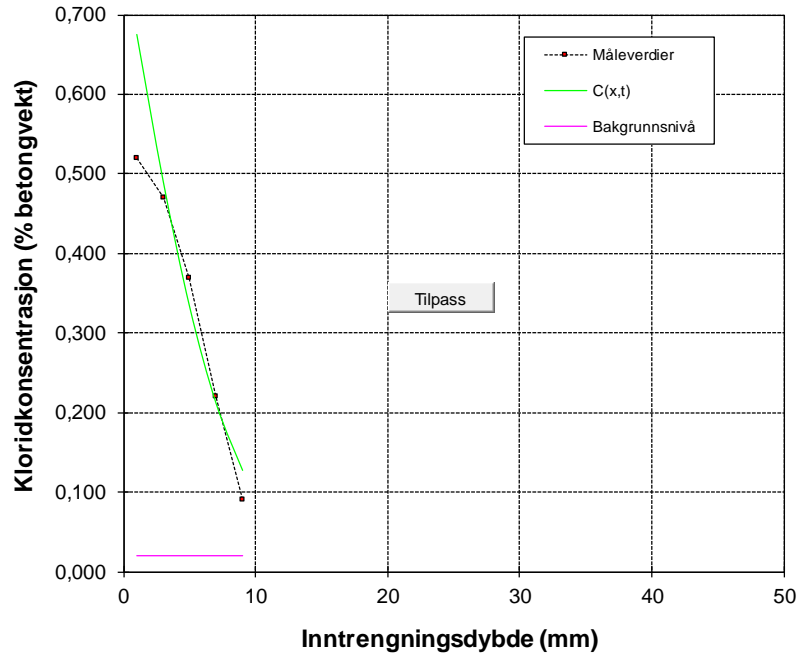
Mørtel D - profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel E Profil a © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,772	% betong
D	1,21	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9810	
Inntrengning	82,4	g/m^2
k (0.1 %)	14,1	mm

x	målt	status
1	0,520	ok
3	0,470	ok
5	0,370	ok
7	0,220	ok
9	0,090	ok

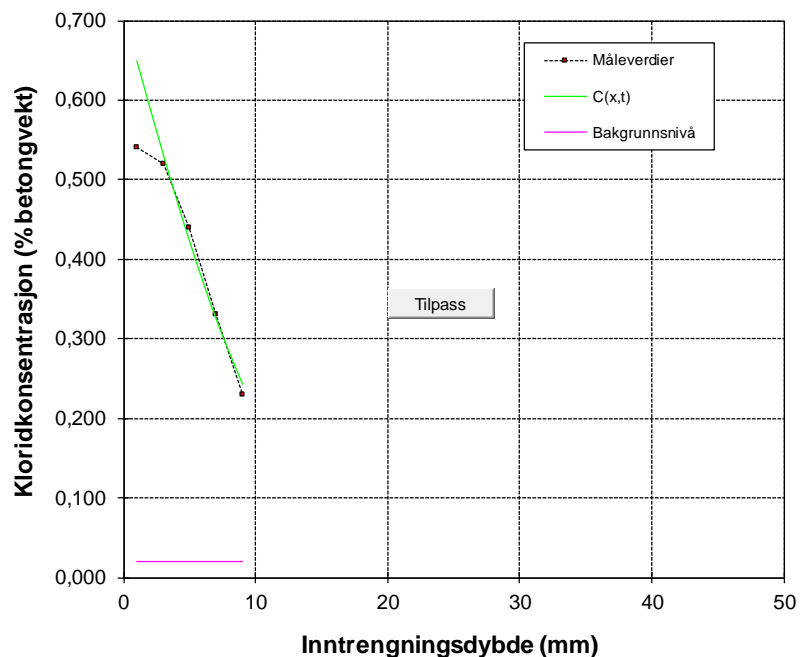


Mørtel E - profil a

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel E Profil b © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,710	% betong
D	2,67	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9933	
Inntrengning	95,3	g/m^2
k (0.1 %)	20,4	mm

x	målt	status
1	0,540	ok
3	0,520	ok
5	0,440	ok
7	0,330	ok
9	0,230	ok



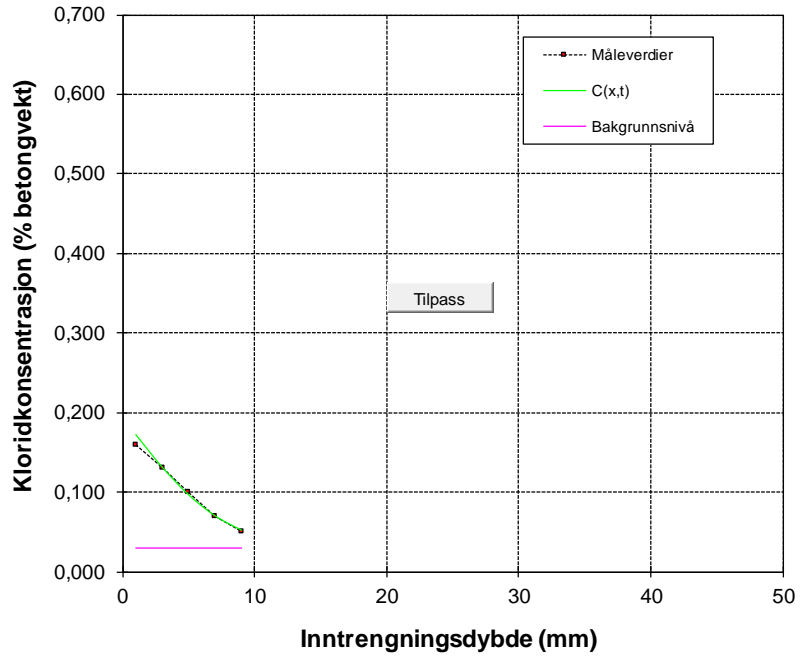
Mørtel E - profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** mørtel F **Profil a** © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,030	% betong
C_0	0,194	% betong
D	1,17	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9977	
Inntrengning	19,2	g/m^2
k (0.1 %)	6,9	mm

x	målt	status
1	0,160	ok
3	0,130	ok
5	0,100	ok
7	0,070	ok
9	0,050	ok

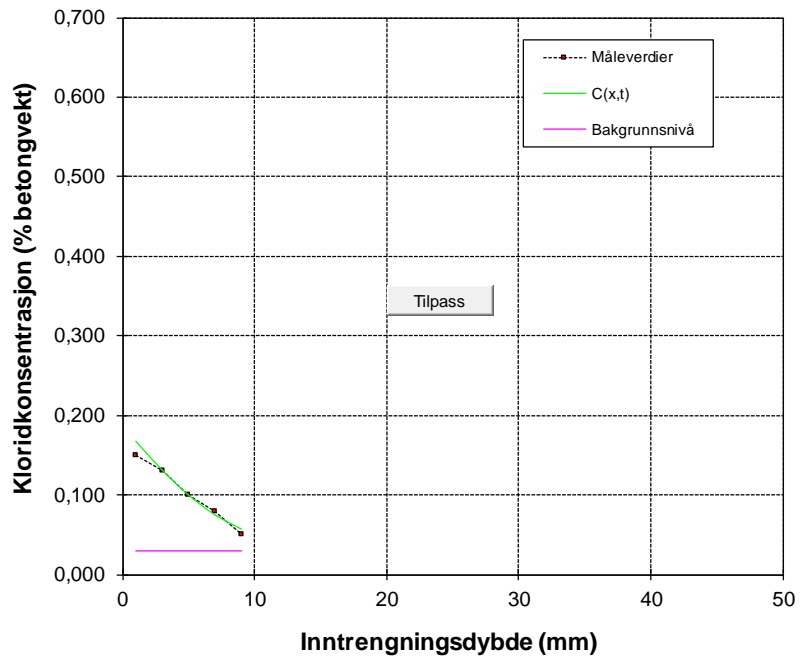


Mørtel F - profil a

Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** mørtel F **Profil b** © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,030	% betong
C_0	0,187	% betong
D	1,36	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9895	
Inntrengning	18,8	g/m^2
k (0.1 %)	7,1	mm

x	målt	status
1	0,150	ok
3	0,130	ok
5	0,100	ok
7	0,080	ok
9	0,050	ok



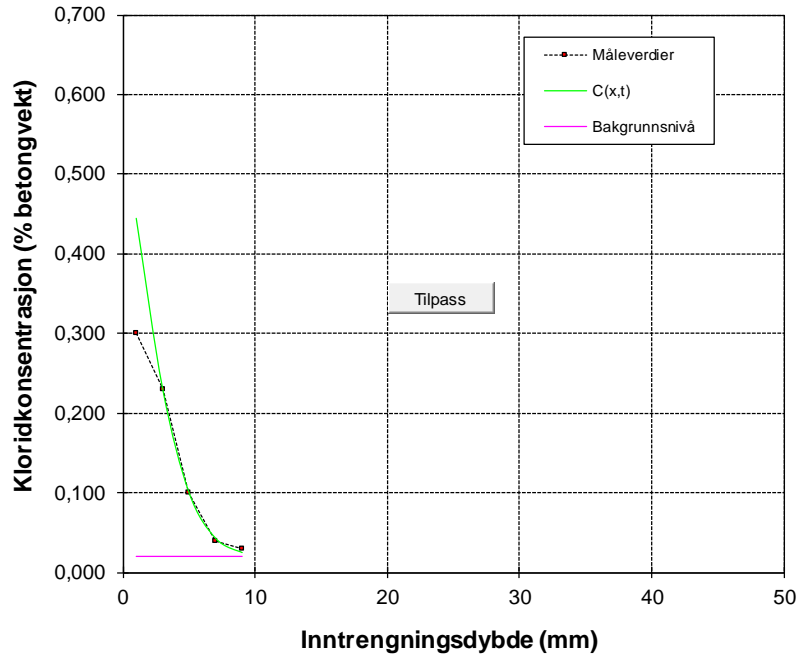
Mørtel F - profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel G Profil a © 2012-01-09 SS

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,571	% betong
D	0,38	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9994	
Inntrengning	34,9	g/m^2
k (0.1 %)	7,1	mm

x	målt	status
1	0,300	
3	0,230	ok
5	0,100	ok
7	0,040	ok
9	0,030	ok

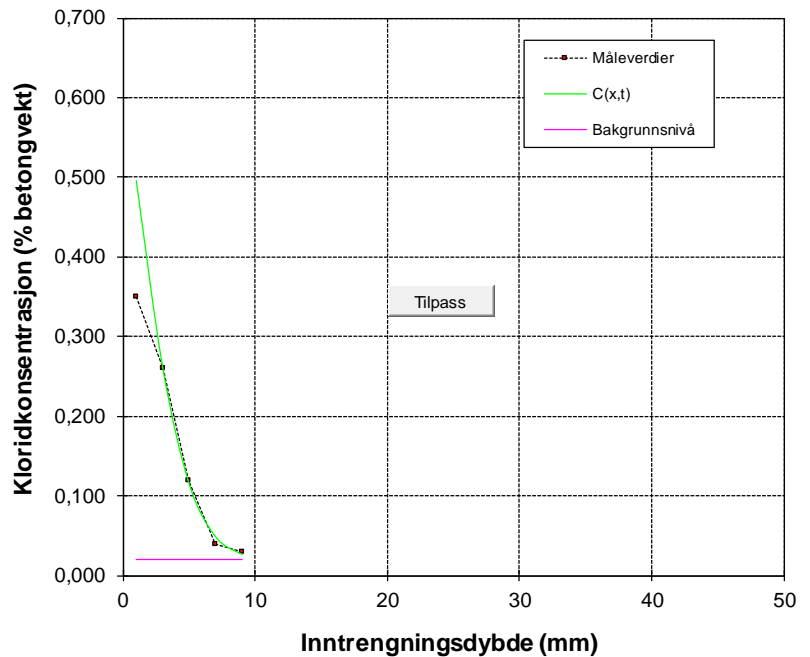


Mørtel G - profil a

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel G Profil b © 2012-01-09 SS

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,633	% betong
D	0,40	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9984	
Inntrengning	40,9	g/m^2
k (0.1 %)	7,6	mm

x	målt	status
1	0,350	
3	0,260	ok
5	0,120	ok
7	0,040	ok
9	0,030	ok



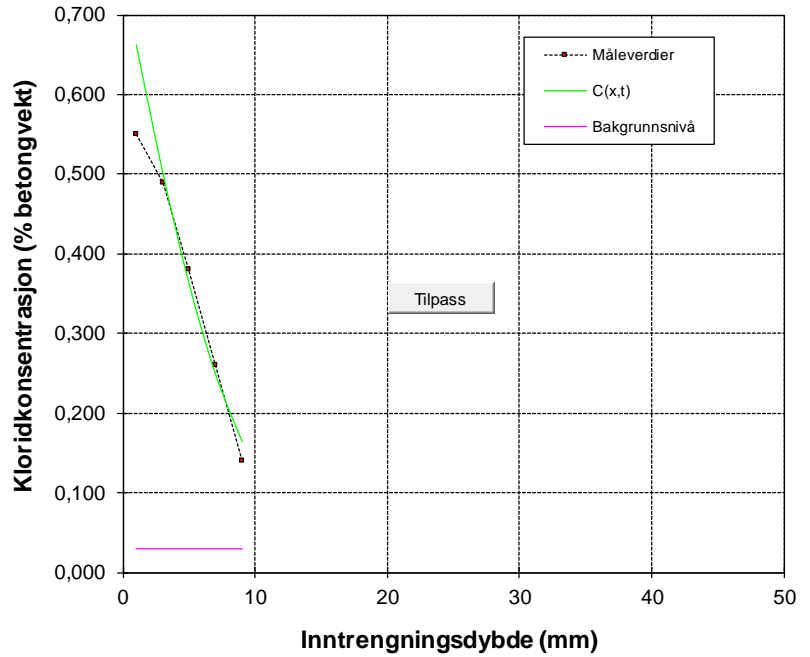
Mørtel G - profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel H Profil a © 2012-01-09 SS

Ekspontert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,030	% betong
C_0	0,745	% betong
D	1,49	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9915	
Inntrengning	85,9	g/m^2
k (0.1 %)	16,1	mm

x	målt	status
1	0,550	ok
3	0,490	ok
5	0,380	ok
7	0,260	ok
9	0,140	ok

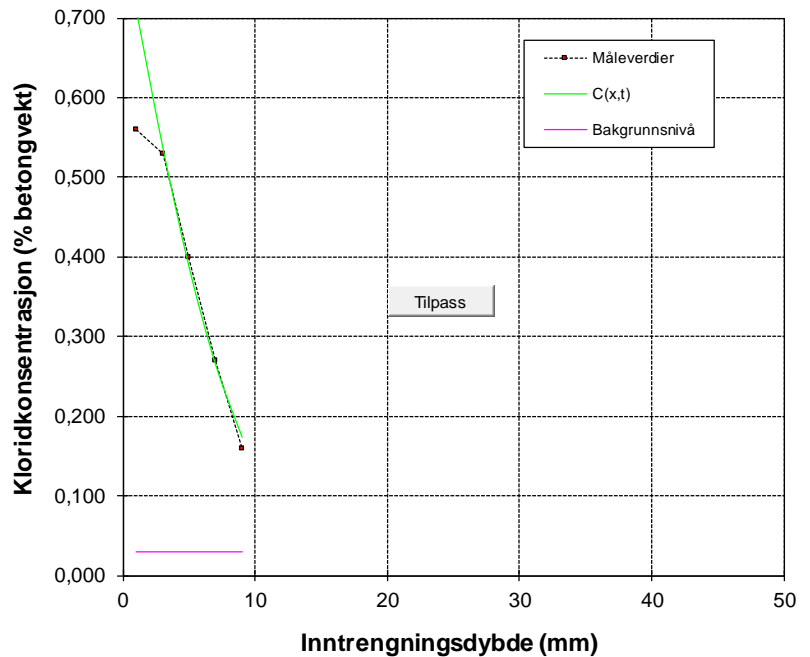


Mørtel H - profil a

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel H Profil b © 2012-01-09 SS

Ekspontert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,030	% betong
C_0	0,800	% betong
D	1,49	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9971	
Inntrengning	90,1	g/m^2
k (0.1 %)	16,4	mm

x	målt	status
1	0,560	ok
3	0,530	ok
5	0,400	ok
7	0,270	ok
9	0,160	ok



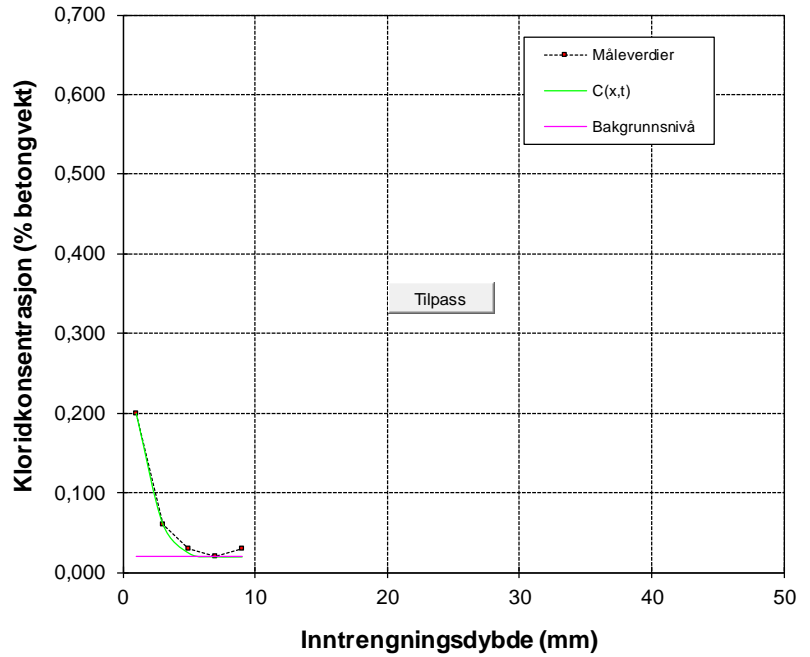
Mørtel H - profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C₀ og D **Prosjekt:** mørtel I **Profil a** © 2012-01-09 SS

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C ₀	0,307	% betong
D	0,14	10 ⁻¹² m ² /s
R ²	0,9993	
Inntrengning	15,5	g/m ²
k (0.1 %)	3,2	mm

x	målt	status
1	0,200	ok
3	0,060	ok
5	0,030	ok
7	0,020	ok
9	0,030	

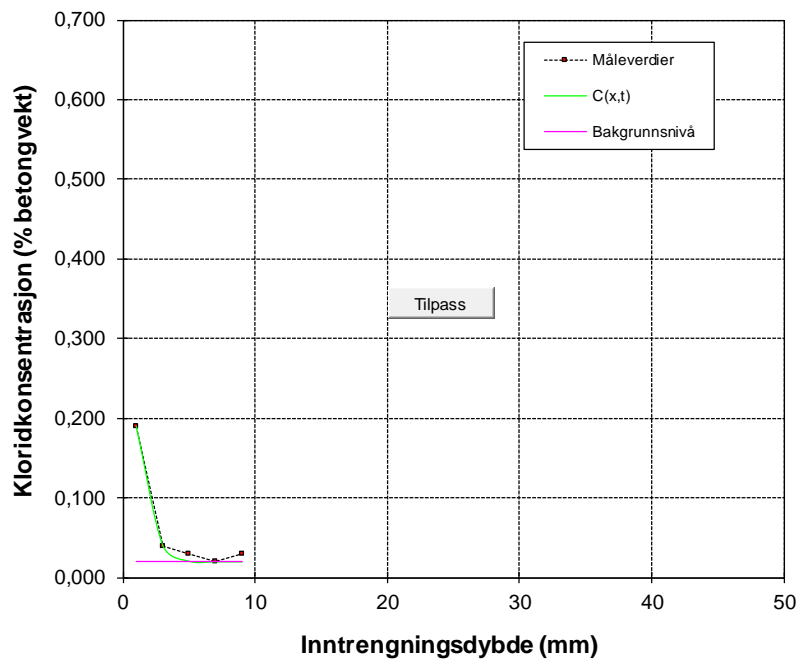


Mørtel I - profil a

Beregning av C₀ og D **Prosjekt:** mørtel I **Profil b** © 2012-01-09 SS

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C ₀	0,334	% betong
D	0,09	10 ⁻¹² m ² /s
R ²	0,9984	
Inntrengning	13,8	g/m ²
k (0.1 %)	2,6	mm

x	målt	status
1	0,190	ok
3	0,040	ok
5	0,030	ok
7	0,020	ok
9	0,030	



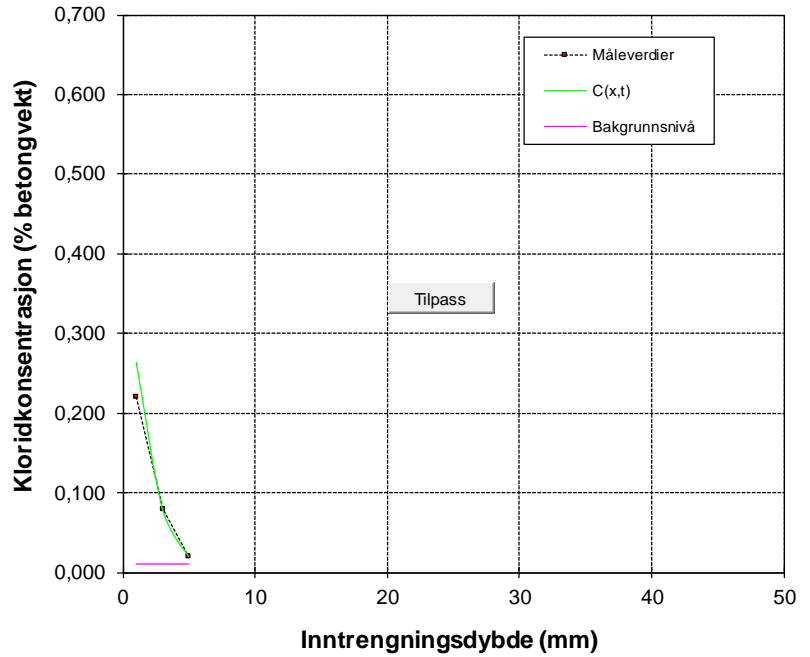
Mørtel I - profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel J Profil a © 2012-01-09 SS

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,010	% betong
C_0	0,396	% betong
D	0,16	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	1,0000	
Inntrengning	17,8	g/m^2
k (0.1 %)	3,8	mm

x	målt	status
1	0,220	
3	0,080	ok
5	0,020	ok

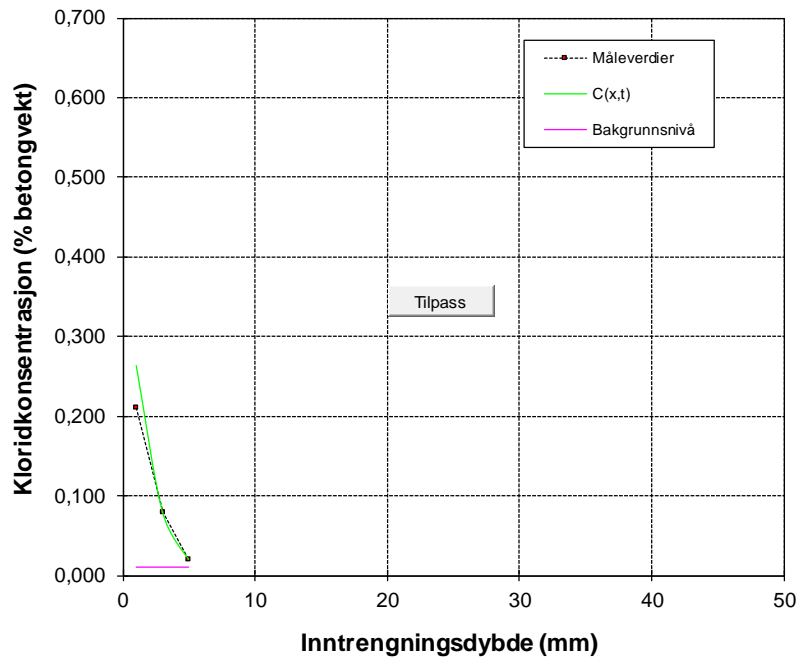


Mørtel J - profil a

Beregning av C_0 og D Prosjekt: mørtel J Profil b © 2012-01-09 SS

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,010	% betong
C_0	0,396	% betong
D	0,16	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	1,0000	
Inntrengning	17,0	g/m^2
k (0.1 %)	3,8	mm

x	målt	status
1	0,210	
3	0,080	ok
5	0,020	ok



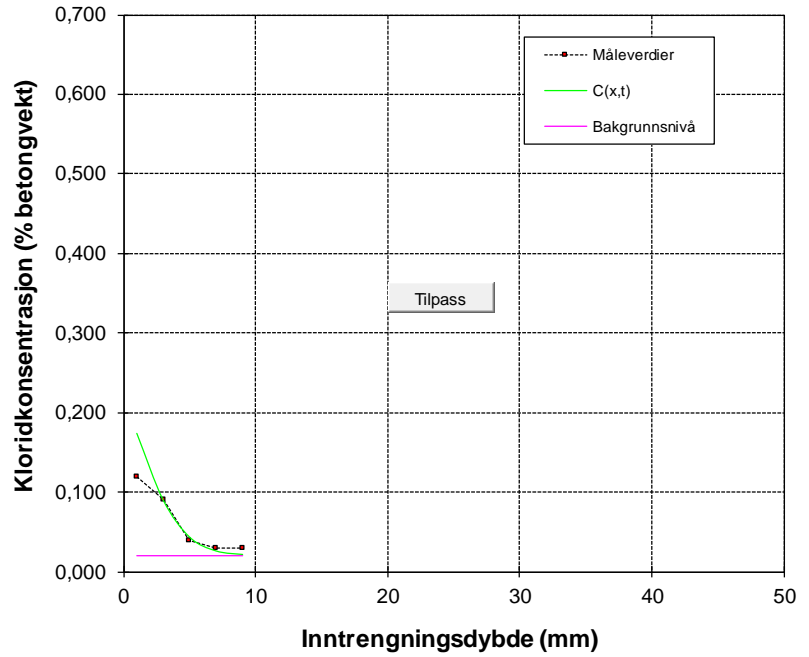
Mørtel J - profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** SV30 Referansebetong **Profil a** © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,226	% betong
D	0,31	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9940	
Inntrengning	12,0	g/m^2
k (0.1 %)	3,8	mm

x	målt	status
1	0,120	
3	0,090	ok
5	0,040	ok
7	0,030	ok
9	0,030	

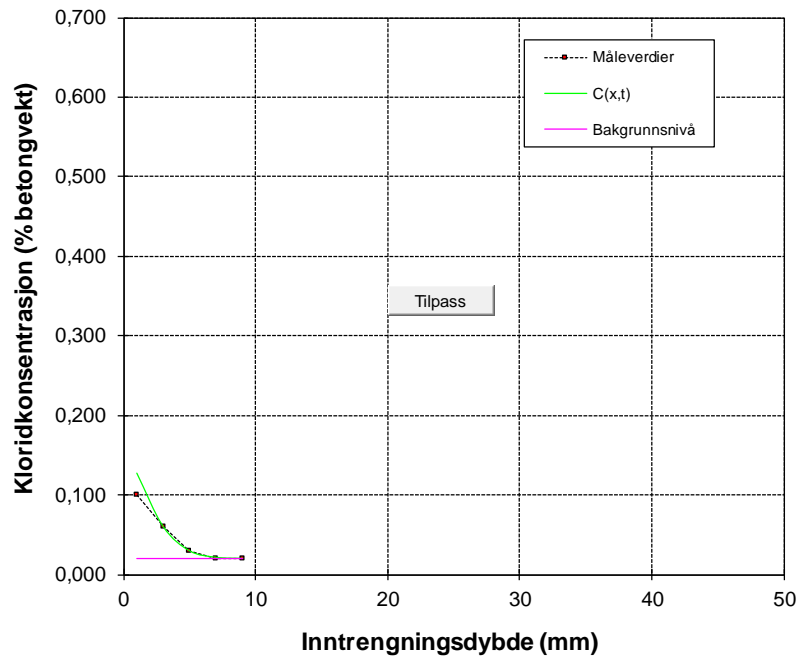


Betong SV30 – profil a

Beregning av C_0 og D **Prosjekt:** SV30 Referansebetong **Profil b** © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,172	% betong
D	0,23	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9991	
Inntrengning	8,2	g/m^2
k (0.1 %)	2,4	mm

x	målt	status
1	0,100	
3	0,060	ok
5	0,030	ok
7	0,020	ok
9	0,020	



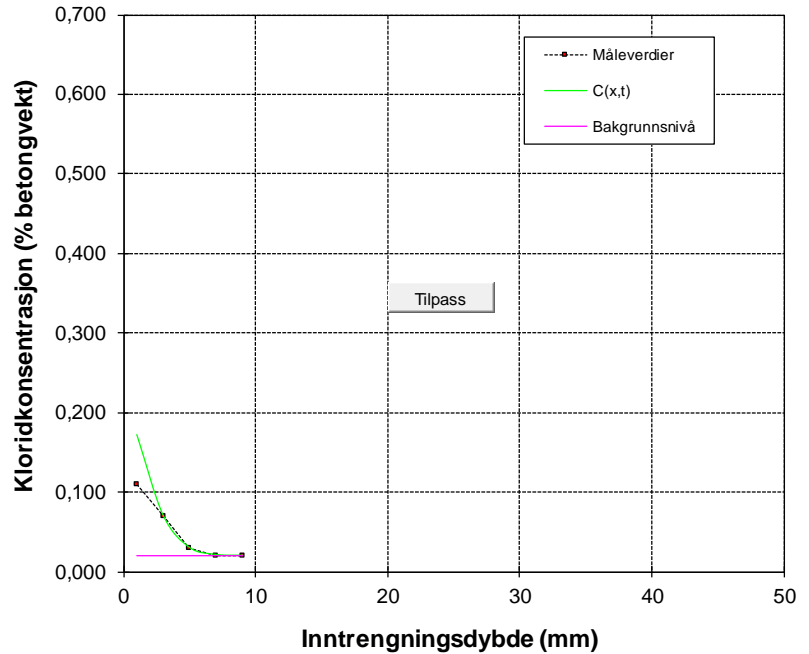
Betong SV30 – profil b

Reparasjonsmørtlers kloridmotstand

Beregning av C_0 og D Prosjekt: SV-40 Referansebetong Profil a © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,240	% betong
D	0,20	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9997	
Inntrengning	9,4	g/m^2
k (0.1 %)	3,2	mm

x	målt	status
1	0,110	ok
3	0,070	ok
5	0,030	ok
7	0,020	ok
9	0,020	

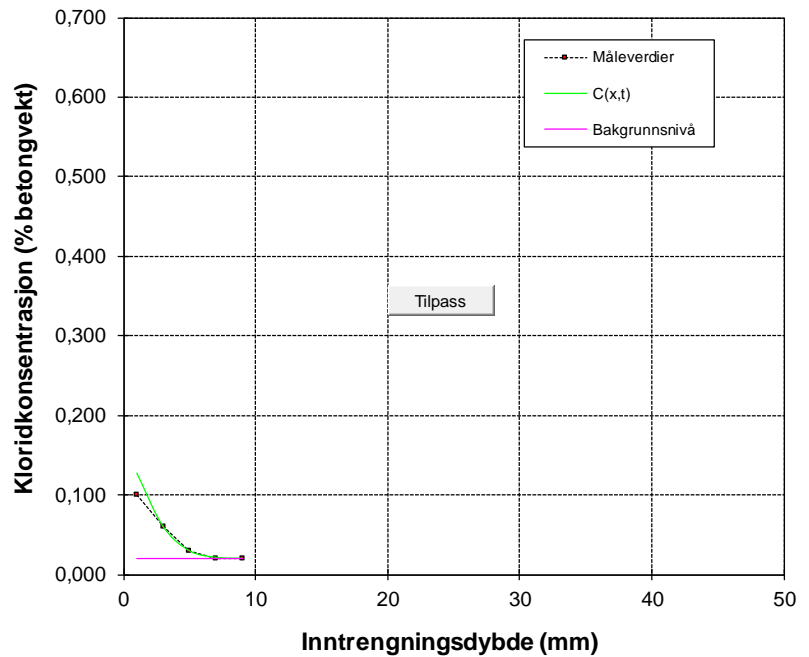


Betong SV40 – profil a

Beregning av C_0 og D Prosjekt: SV-40 Referansebetong Profil b © 2012-01-09 ss

Eksponert tid	4320	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,172	% betong
D	0,23	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9991	
Inntrengning	8,2	g/m^2
k (0.1 %)	2,4	mm

x	målt	status
1	0,100	ok
3	0,060	ok
5	0,030	ok
7	0,020	ok
9	0,020	



Betong SV40 – profil b



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

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen