



Akselerert kloridinntrenging i overflatebehandlet betong

Innledende prøving med tanke på revisjon av prosedyrer

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 189



Tittel

Akselerert kloridinntrenging i overflatebehandlet betong

Undertittel

Innledende prøving med tanke på revisjon av prosedyrer

Forfatter

Eva Rodum

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603318

Rapportnummer

Nr. 189

Prosjektleder

Claus K. Larsen

Godkjent av

Claus K. Larsen

Emneord

Betong, overflatebehandling, hydrofoberende impregnering, kloridinntrenging, prøvingsmetode

Sammendrag

Som ledd i arbeidet med revisjon av Statens vegvesens dokumentasjonsordning for kloridbremsende overflatebehandlingsprodukter, og som grunnlag for arbeidet med en felles nordisk kloridtestmetode for hydrofoberende impregneringer, er det gjennomført laboratorieforsøk med tanke på å forbedre den norske metoden/sammenligne alternative eksponeringsmetoder. Denne rapporten inneholder resultater fra innledende prøving av 1) ulike overflatebehandlingsprodukter iht eksisterende norsk kloridtestmetode, 2) alternative forbehandlingsprosedyrer før påføring av hydrofoberende impregnering, med hensyn på effekt på inntrengingsdybde, 3) alternative eksponeringsmetoder, dvs permanent/syklisk eksponering i hhv 3 % og 16,5 % NaCl-løsning og 4) inntrengingsdybde av hydrofoberende impregnering iht NS-EN 1504-2. Prøvingen er utført ved SINTEF Byggforsk og Statens vegvesen Sentrallaboratoriet i Oslo.

Title

Accelerated testing of chloride ingress into surface treated concrete

Subtitle

Preliminary testing as basis for revision of procedures

Author

Eva Rodum

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Tunnel and concrete

Project number

603318

Report number

No. 189

Project manager

Claus K. Larsen

Approved by

Claus K. Larsen

Key words

Concrete, surface treatment, hydrophobic impregnation, chloride ingress, test method

Summary

As preparation for revision of the NPRA chloride test regime for surface treatment products, and as input to a Nordic project regarding a common chloride test method, laboratory testing has been performed in order to improve the Norwegian method and examine alternative exposure methods. This report presents the results from testing of 1) different surface products according to existing NPRA procedure, 2) alternative preconditioning procedures before application of hydrophobic impregnations with regard to depth of penetration, 3) chloride ingress by cyclic/permanent exposure in 3 % and 16,5 % NaCl solution, respectively and 4) penetration depths of hydrophobic impregnation according to EN 1504-2. Testing is performed at SINTEF Building and Infrastructure and NPRA's laboratory in Oslo.

INNHOOLD

1	BAKGRUNN	2
2	OMFANG	2
3	PRØVING I KLORIDPÅSPRØYTINGSKAMMER – SINTEF OG STATENS VEGVESEN	3
3.1	BAKGRUNN	3
3.2	PRØVINGSPROSEDYRE	4
3.3	PRØVESERIER	5
3.4	RESULTATER	6
3.4.1	<i>Generelt</i>	6
3.4.2	<i>Trykkfasthet</i>	6
3.4.3	<i>Kloridinntrenging og filtreringseffekt av produktene</i>	6
3.5	EVALUERING	13
4	FUKTINNHOLDETS BETYDNING FOR INNTRENGING AV HYDROFOBERENDE IMPREGNERING	14
4.1	BAKGRUNN	14
4.2	PRØVINGSPROSEDYRE	14
4.3	RESULTATER	16
4.3.1	<i>Generelt</i>	16
4.3.2	<i>Trykkfasthet</i>	16
4.3.3	<i>Fuktutvikling i betongen over tid - kapillær vannmetning</i>	16
4.3.4	<i>Inntrengingsdybde av hydrofobere impregnering</i>	19
4.4	EVALUERING	25
5	PRØVING IHT ULIKE KLORIDKSPONERINGSMETODER	25
5.1	BAKGRUNN	25
5.2	PRØVINGSPROSEDYRE	26
5.3	RESULTATER	28
5.3.1	<i>Trykkfasthet</i>	28
5.3.2	<i>Kloridinntrenging og filtreringseffekt av produktene</i>	28
5.3.3	<i>Inntrengingsdybde av hydrofobere impregnering</i>	33
5.4	EVALUERING	38
6	PRØVING AV INNTRENGINGSDYBDE IHT NS-EN 1504-2	38
6.1	BAKGRUNN	38
6.2	PRØVINGSPROSEDYRE OG RESULTATER – 1. GANGS PRØVING	38
6.3	PRØVINGSPROSEDYRE OG RESULTATER – 2. GANGS PRØVING	40
6.4	EVALUERING	44
7	KLORIDPÅSPRØYTINGSKAMMERET – EFFEKT AV ENDRET PROSEDYRE	45
8	OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER	46
9	VIDERE ARBEID	48
10	REFERANSER	48

Vedlegg 1: Betongresept, utstøpte prøvestykker SINTEF Byggforsk

Vedlegg 2: Kloridresultater, åtte produkter testet i kloridpåsprøytingskammer

Vedlegg 3: Betongresept, utstøpte prøvestykker SINTEF Byggforsk

Vedlegg 4: Betongresept, utstøpte prøvestykker Statens vegvesen

Vedlegg 5: Betongresepter, utstøpte prøvestykker SINTEF Byggforsk

1 BAKGRUNN

Statens vegvesen har siden 1998 hatt en egen dokumentasjonsordning for kloridbremsende overflatebehandlingsprodukter for betong. Ordningen er beskrevet i Statens vegvesen interne rapport nr 2034: «Krav til dokumentasjon av kloridbremsende produkter til overflatebehandling av betong» /1/. Dokumentasjonsordningen beskriver en akselerert kloridtestmetode, SINTEF MB 71 301 /2/, som innebærer syklisk klorideksponering i et kloridpåsprøytingskammer, dvs vekselvis 4 timer sprøyting med 3 % NaCl-løsning og 4 timer tørking, i totalt 6 uker.

Kravene om egenskapstesting av produkter, og kravene til egenskaper, er gitt i Håndbok 026: Prosesskode-2 /3/, prosess 88.37.

Innføring av nye standarder for betongrehabilitering, spesielt NS-EN 1504-serien, har medført behov for revisjon av Statens vegvesens krav til materialeegenskaper, både for reparasjonsmaterialer og overflatebehandlingsprodukter. NS-EN 1504-serien har vært gjeldende i Norge siden 1. januar 2009.

NS-EN 1504 del 2: «Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner. Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar. Systemer for overflatebehandling» /4/ regulerer kravene til egenskapstesting av overflatebehandlingsprodukter for betong. Iht standarden skal de fleste aktuelle produkttegenskaper testes iht definerte NS-EN prøvingsstandarder. Når det gjelder produktenes kloridbremsende egenskaper, har imidlertid ikke de europeiske landene kommet til enighet om en felles prøvingsmetode. Det står derfor angitt i NS-EN 1504-2 at dokumentasjon av denne egenskapen er underlagt nasjonale standarder og retningslinjer. I nasjonalt tillegg til NS-EN 1504-9 er det i pkt NA.A.7 (1) angitt «Diffusjon av klorider (NS-EN 1504-2). Følgende prøvingsmetode kan benyttes for impregneringsmaterialer og filmdannende belegg: SINTEF MB 71 301 - ”Prøving av kloridbremsende overflatebehandlingsmidler for betong”».

Med bakgrunn i ovennevnte situasjon ønsket Statens vegvesen å evaluere sin interne dokumentasjonsordning og eventuelt foreta revisjon av prosedyrene med bakgrunn i de erfaringene som forelå med bruk av metodene. Dette arbeidet ble startet i 2010.

I 2011 ble Statens vegvesen kontaktet av svenske Trafikverket, med invitasjon til å delta i et nordisk samarbeid med tanke på å komme fram til en felles nordisk kloridtestmetode for hydrofoberende impregneringer for betong. I juni 2011 ble det dannet et fellesnordisk forprosjekt, med deltagelse fra Sverige, Finland og Norge, med dette formål. I november 2012 ble hovedprosjektet etablert.

Denne rapporten presenterer resultater fra innledende forsøk med eksisterende norske prosedyrer, alternative forbehandlingsprosedyrer før påføring av overflateprodukt og alternative klorideksponeringsmetoder. Videre presenteres resultater fra prøving av inntrengingsdybde av hydrofoberende impregneringer iht NS-EN 1504-2.

De innledende forsøkene er utført i regi av Statens vegvesen, men resultatene vil danne utgangspunkt for det videre arbeidet i det nordiske samarbeidsprosjektet.

2 OMFANG

Rapporten inneholder en beskrivelse av dagens norske kloridprøvingsmetode for overflatebehandling, samt resultater fra følgende utførte forundersøkelser relatert til revisjon av metoden:

- Prøving av kloridbremsende egenskaper iht norsk prosedyre /2/ for totalt åtte overflatebehandlingsprodukter, som ledd i et større dokumentasjonsprogram med omfattende

prøving av produkttegenskaper iht NS-EN 1504-2 /4/. Prøvingen ble utført ved SINTEF Byggforsk i 2010-2011. Det ble samtidig utført parallell eksponering (ringprøving) av utvalgte produkter i kloridpåsprøytingskammeret i Statens vegvesen Sentrallaboratoriet i Oslo.

- Prøving av alternative forbehandlingsprosedyrer for påføring av hydrofobere impregnering, i praksis ulike tørketider (fra 1 time til 14 døgn) etter forutgående vannmetning. Prøving er utført både på sagflater og støpehud. Effekt av tørketid på inntrengingsdybde av hydrofobere impregnering, samt fukttap over tid og kapillær vannmetningsgrad av betongen er undersøkt. Prøvingen ble utført ved SINTEF Byggforsk i 2011-2012.
- Prøving iht alternative klorideksponeringsmetoder. Parallell prøving av ubehandlede og behandlede prøvestykker i 56 døgn, hhv i:
 - o Kloridpåsprøytingskammer (3 % NaCl, 4 timer sprøyting, 4 timer tørking)
 - o Permanent neddykket i 3 % NaCl-løsning
 - o Permanent neddykket i 16,5 % NaCl-løsning
 - o Syklisk neddykket i 16,5 % NaCl-løsning (1 døgn neddykket, 1 døgn i laboratorieluft, manuell forflytning)
 Prøvingen ble utført ved Statens vegvesen Sentrallaboratoriet i Oslo i 2012.

I tillegg inneholder rapporten resultater fra prøving av inntrengingsdybder av hydrofobere impregneringer iht NS-EN 1504-2, utført ved SINTEF Byggforsk i 2009 og 2010.

I rapporten benyttes begrepet «herdetid» om tiden etter påføring av hydrofobere impregnering fram til klorideksponering eller måling av inntrengingsdybde. I «herdetiden» foregår inntrenging av impregneringen og polymerisering av produktet. Inntrenging av silanbaserte impregneringer skjer i løpet av timer/få dager, mens polymeriseringen kan skje over flere uker.

3 PRØVING I KLORIDPÅSPRØYTINGSKAMMER – SINTEF OG STATENS VEGVESEN

3.1 Bakgrunn

Som ledd i arbeidet med å revidere det interne regelverket for betongrehabiliteringsprodukter (HB 026, prosess 88.3) har Statens vegvesen gjennomført et omfattende prøvingsprogram for åtte overflatebehandlingsprodukter (fire hydrofobere impregneringer og fire belegg) iht NS-EN 1504-2 «Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner. Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar. Del 2: Systemer for overflatebehandling». Følgende produkttegenskaper har vært prøvd:

- Uttøringsprøving for hydrofobe impregneringer, iht NS-EN 13579
- Vannabsorpsjon og alkalibestandighet for hydrofobe impregneringer, iht NS-EN 13580
- Bestemmelse av massetap på betong med hydrofob impregnering etter fryse-tine-prøving med salter, iht NS-EN 13581
- Inntrengingsdybde, tabell 3 i NS-EN 1504-2
- Bestemmelse og klassifisering av graden av gjennomtrenging av vanndamp (permeabilitet), iht NS-EN-ISO 7783-2
- Bestemmelse av vanngjennomtrengningsgrad (permeabilitet), iht NS-EN 1062-3
- Bestemmelse av karbondioksidpermeabilitet, iht NS-EN 1062-6
- Bestemmelse av egenskaper for sprekkeoverbygging, iht NS-EN 1062-7
- Måling av heftfasthet ved uttrekksprøving, iht NS-EN 1542
- Bestemmelse av temperaturutvidelseskoeffisienten, iht NS-EN 1770
- Egnethet på våt betong, iht NS-EN 13578

All prøving ble utført ved SINTEF Byggforsk.

For kloridbremsende egenskaper henviser NS-EN 1504-2 til nasjonale retningslinjer. Prøving av denne egenskapen ble derfor gjennomført iht Statens vegvesens regelverk, ved eksponering av prøvestykker i kloridpåsprøytingskammer (MB 71 301 /2/). For å dokumentere metodens reproduserbarhet ble det besluttet å gjennomføre samtidig eksponering i to ulike eksponeringskammer for fem av de åtte produktene.

Dette kapittelet omhandler utført prøving av kloridbremsende egenskaper. Prøving av inntrengingsdybder er beskrevet i kapittel 6.

3.2 Prøvingsprosedyre

Prøvingen er utført iht MB 71 301 /2/, med mindre modifikasjoner knyttet til påføring av produktene og transport av prøvestykker fra/til Statens vegvesen Sentrallaboratoriet.

Utstøping av betong og tildanning av prøvestykker:

Det ble støpt ut 100 mm betongterninger i henhold til NS 3099, toleranseklasse 1, gruppe 2 ($v/c = 0,45$). Betongresept finnes i VEDLEGG 1. Terningene ble støpt 28.12.2009 og ble lagret i vann inntil prøving.

Prøvestykker ble tildannet ved at terningene ble saget på tvers av støperetningen i to like deler (merket hhv A og B). Prøvestykkene ble forseglest med to strøk epoksy på alle flater unntatt eksponeringsflata (sagflata). Etter at epoksyen var herdet ble prøvelegemene lagret i mettet Ca(OH)_2 - løsning i minimum 3 døgn før påføring av overflatebehandlingsprodukt.

Påføring av overflateprodukt (A-halvdeler):

Påføring av overflateprodukt ble utført i perioden 18.10-01.11.2010 og utført som følger:

- Prøvestykkene ble tatt opp fra Ca(OH)_2 -løsningen, skylt i rennende vann, tørket av og satt til tørking i luft av 20 ± 2 °C og 50 ± 5 % RF i 60 minutter.
- Produktene ble påført aktuelt produkt i mengde som angitt av leverandøren, se Tabell 1
- Prøvestykker påført hydrofobere impregnering ble satt med eksponeringsflaten i vertikal posisjon umiddelbart etter påføring (i 30 minutter).

Prøvestykker påført belegg ble satt til herding i 7 døgn før eksponering, prøvestykker påført hydrofobere impregnering ble satt til «herding» (inntrenging/polymerisering) i 2 døgn. Prøvestykker som skulle eksponeres i Statens vegvesen Sentrallaboratoriet ble sendt med bud over natta etter siste herdedøgn, innpakket i plast i spesiallagde kasser (etter fjerning av eventuell overskytende hydrofobere krem eller gel). Prøvestykker ved SINTEF ble lagret under samme betingelser natta over, og start eksponering skjedde samtidig ved begge laboratorier.

Referanseprøver (B-halvdeler):

Alle referanseprøver ble beholdt i mettet Ca(OH)_2 -løsning inntil ett døgn før eksponering startet. Da ble prøvestykkene pakket i fuktig klede og plast inntil de ble plassert i kloridpåsprøytingskammeret ett døgn senere. Dette gjelder både prøvestykker som skulle eksponeres ved SINTEF og prøvestykker som ble sendt til Statens vegvesen i Oslo (sendt med bud over natta før eksponering startet).

Eksponering i kloridpåsprøytingskammer:

Både behandlede prøvestykker (A-halvdeler) og ikke-behandlede referanseprøver (B-halvdeler) ble syklisk eksponert i kloridpåsprøytingskammer (4 timer sprøyting med 3 % NaCl-løsning og 4 timer tørking) i totalt 6 uker.

Prøvestykker eksponert i Statens vegvesens eksponeringskammer i Oslo ble umiddelbart etter eksponering pakket i plast og sendt til SINTEF i Trondheim for fresing og kloridanalyser.

Prøvestykkene ble plassert i kloridpåsprøytingskamrene i perioden 21.10-04.11.2010.

Foto av Statens vegvesens kloridpåsprøytingskammer er vist i Figur 1.



Figur 1 Kloridpåsprøytingskammeret ved Statens vegvesens Sentrallaboratorium

Fresing av støv og kloridanalyser:

Fresing av betongstøv ble utført i 5 mm sjikt inn til 20 mm. Unntak ble gjort for fire prøveserier hvor sjikttykkelsen ble valgt til 2 mm. Fresing ble utført i perioden: 03-17.12.2010. Alle prøvestykker ble frest dagen etter at de ble tatt ut av kloridpåsprøytingskammeret, med unntak av to serier (tilhørende produkt 2-C-sementbasert elastisk, se avsnitt 3.3) som ble frest to dager etter uttak. Prøvestykkene var lagret i plast ved +5 °C inntil fresing. For prøvestykker med belegg er belegget fjernet (ved fresing) før start fresing av betongstøv.

Kloridinnholdet i alle freste sjikt ble analysert med spektrofotometrisk metode, som syreløselig kloridinnhold, i % av tørr betongvekt.

3.3 Prøveserier

Hver prøveserie bestod av seks prøvestykker tildannet fra tre 100 mm terninger, tre behandlede A-halvdeler og tre ubehandlede B-halvdeler.

Det er gjennomført prøving av totalt 13 prøveserier, hhv åtte eksponert hos SINTEF i Trondheim og fem eksponert ved Statens vegvesens Sentrallaboratorium i Oslo. Forbehandling av prøvestykker, påføring av produkter og fresing/kloridanalyser er utført av SINTEF for alle prøveserier, også de eksponert i Oslo.

Totalt er fire hydrofobere impregneringer og fire belegg prøvd. Resultatene er rapportert med produktnavn i SINTEFs prøvingsrapport /5/, men er anonymisert i denne rapporten. Hvilke produkttyper som er prøvd hvor fremgår av Tabell 1. Produktbenevnelsene angir:

- Løpende nummer (1-8)
- Produktkategori (HI = hydrofobere impregneringer, C= belegg).
- Bestanddel i HI (silan eller siloksan)
- Konsistens av HI (krem, væske eller gel)
- Bestanddel i belegg (sementbasert eller epoksy)
- Elastisitet av belegg (alle belegg er elastiske)

Av Tabell 1 fremgår hvilke terninger som er benyttet til hvilke prøveserier. Terninghalvdelen ble merket med terningnummer og hhv A eller B etter saging og tildanning av prøvestykker.

I resultatpresentasjonene er det stedvis benyttet følgende forkortelser for laboratoriene:

- SINTEF = SIN
- Statens vegvesen = SVV

Tabell 1 Oversikt over testede produkttyper og terningnummer, samt påført mengde av produktene

Produkt	Terning nr (SINTEF)	Terning nr (SVV)	Påført mengde, jfr leverandørens anvisning (g/m ²)
1-HI-silan krem	12-14	36-38	200
2-C-elastic sementbasert	15-17	39-41	300
3-HI-siloksan væske	18-20	42-44	200
4-C-elastic sementbasert	21-23	-	1300
5-HI-silan krem	24-26	45-47	300
6-HI-silan gel	27-29	48-50	800
7-C-elastic sementbasert	30-32	-	4500
8-C-elastic epoksy	33-35	-	300

3.4 Resultater

3.4.1 Generelt

Alle resultater er rapportert i SINTEF prøvingsrapport nr 70301 /5/.

3.4.2 Trykkfasthet

Betongens trykkfasthet ble bestemt til 58,0 MPa ved 28 døgns alder (middel av 3 terninger).

3.4.3 Kloridinntrenging og filtreringseffekt av produktene

Alle målte kloridinnhold, for alle prøvestykker og alle sjikt, er gjengitt i Tabell 1-8 i VEDLEGG 2.

Kloridprofiler, basert på middelverdier av tre parallelle prøvestykker, er vist for hvert produkt med tilhørende referanser, i Figur 2-9.

Kloridprofiler for alle referanser eksponert hhv ved SINTEF og Statens vegvesen (SVV) er vist i Figur 10 og 11.

Basert på målte kloridinnhold (% av betongvekt) er det foretatt en beregning av inntrengt mengde klorider (g/m²) i hvert sjikt. Ved omregning av Cl⁻ - innholdet fra % av tørr betongvekt til g/m² ble det antatt en tørdensitet for betongen på 2200 kg /m³. Før omregning er det trukket fra en bakgrunnsverdi på 0,013-0,015 %.

Filtreringseffekten for hvert produkt er beregnet som:

$$\left[1 - \left(\frac{m_{Cl \text{ tot behandlet}}}{m_{Cl \text{ tot referanse}}} \right) \right] \cdot 100$$

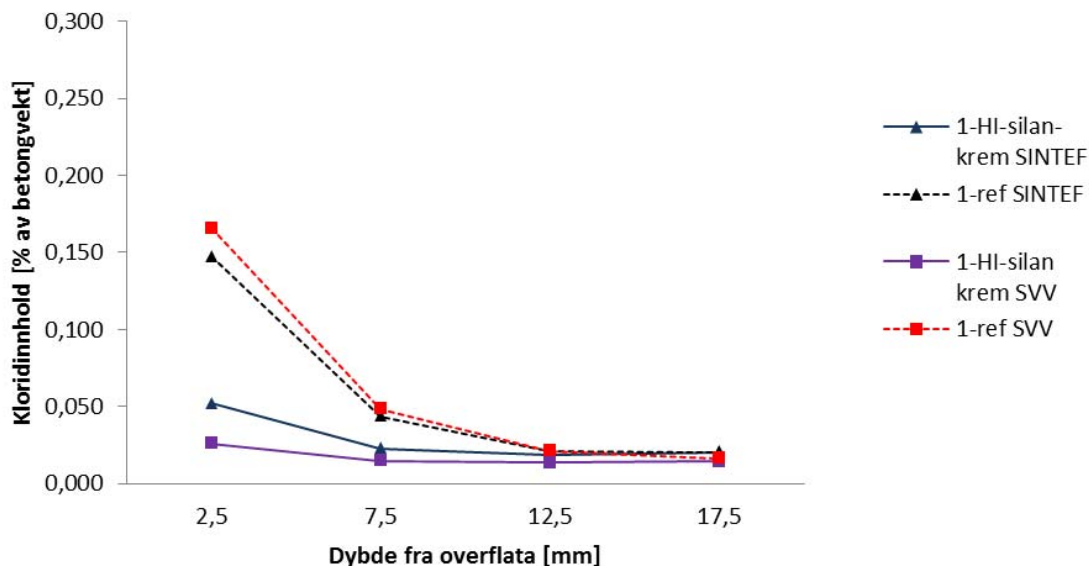
hvor

$m_{Cl \text{ tot behandlet}}$ = total inntrengt mengde klorider i overflatebehandlede prøver (middel av tre parallelle)

$m_{Cl \text{ tot referanse}}$ = total inntrengt mengde klorider i ubehandlede referanseprøver (middel av tre parallelle)

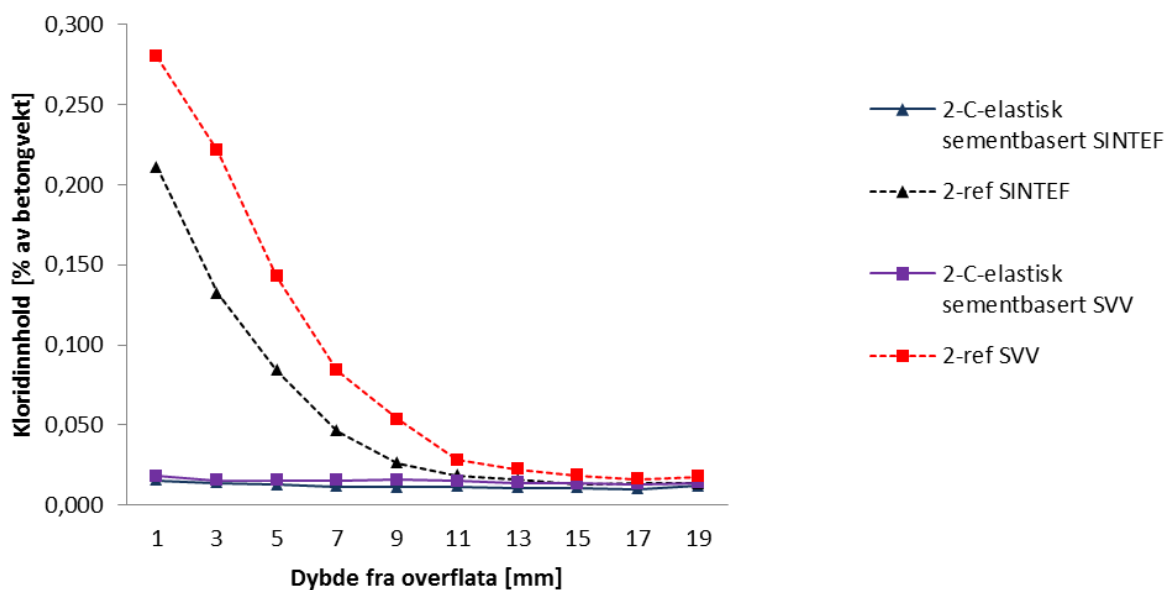
Beregnet inntrengt mengde klorider pr serie, samt filtreringseffekten av produktene er vist i Tabell 2 og fremstilt grafisk i Figur 12 og 13.

1-HI-silan krem



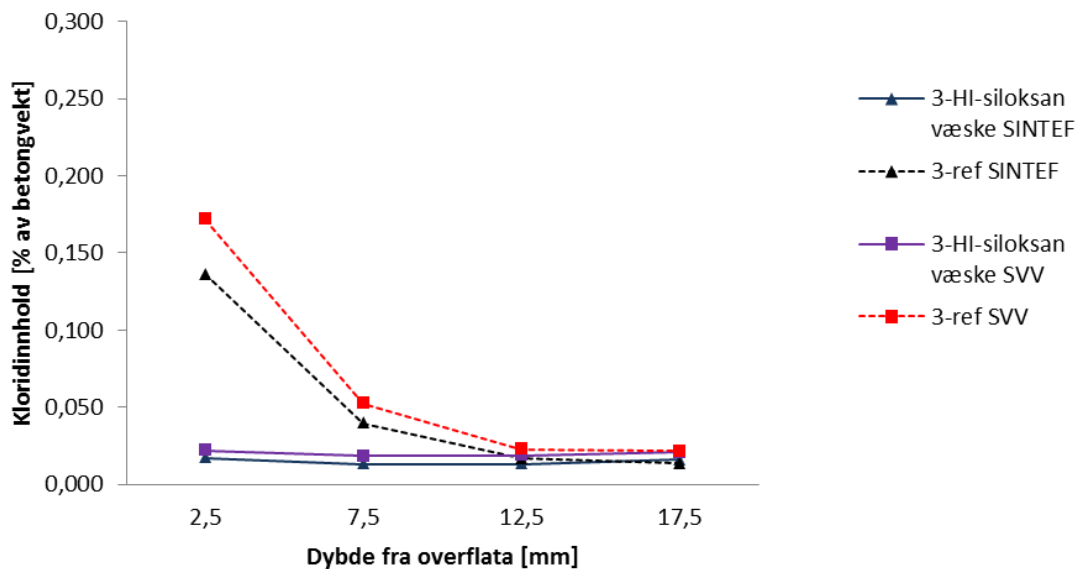
Figur 2 Kloridprofiler fremstilt for prøvestykker påført produkt 1-HI-silan krem og tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF og SVV /5/

2-C-elastisk sementbasert



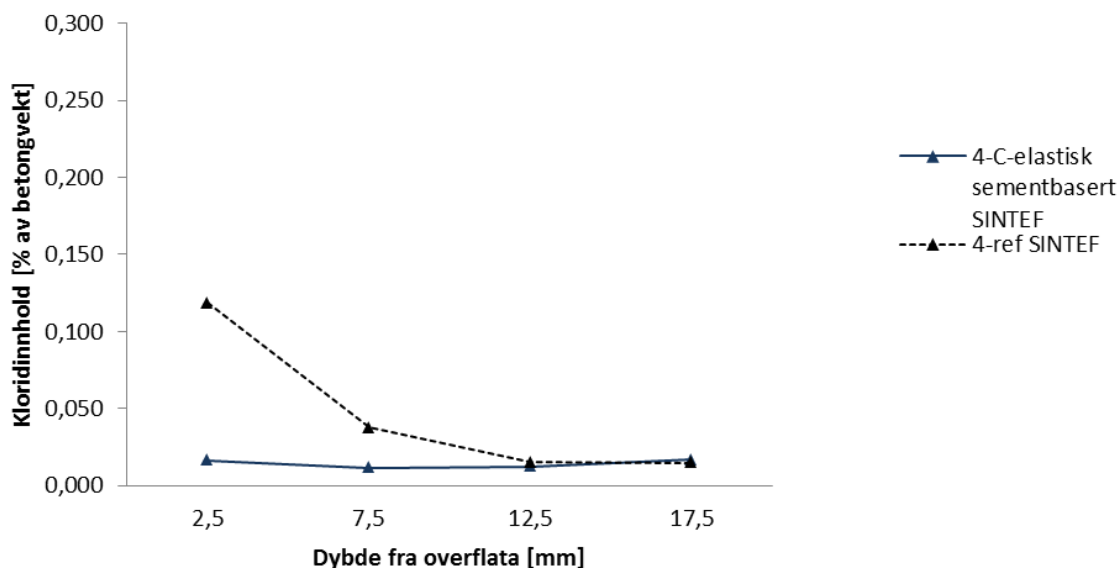
Figur 3 Kloridprofiler fremstilt for prøvestykker påført produkt 2-C-elastisk sementbasert belegg og tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF og SVV /5/

3-HI-siloksan væske



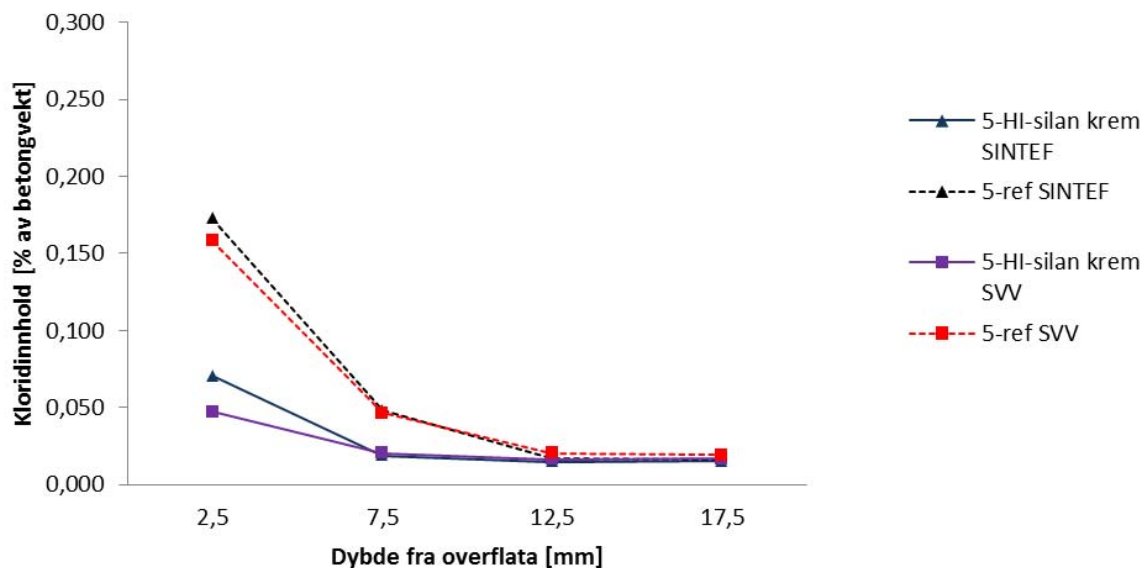
Figur 4 Kloridprofiler fremstilt for prøvestykker påført produkt 3-HI-siloksan væske og tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF og SVV /5/

4-C-elastisk sementbasert



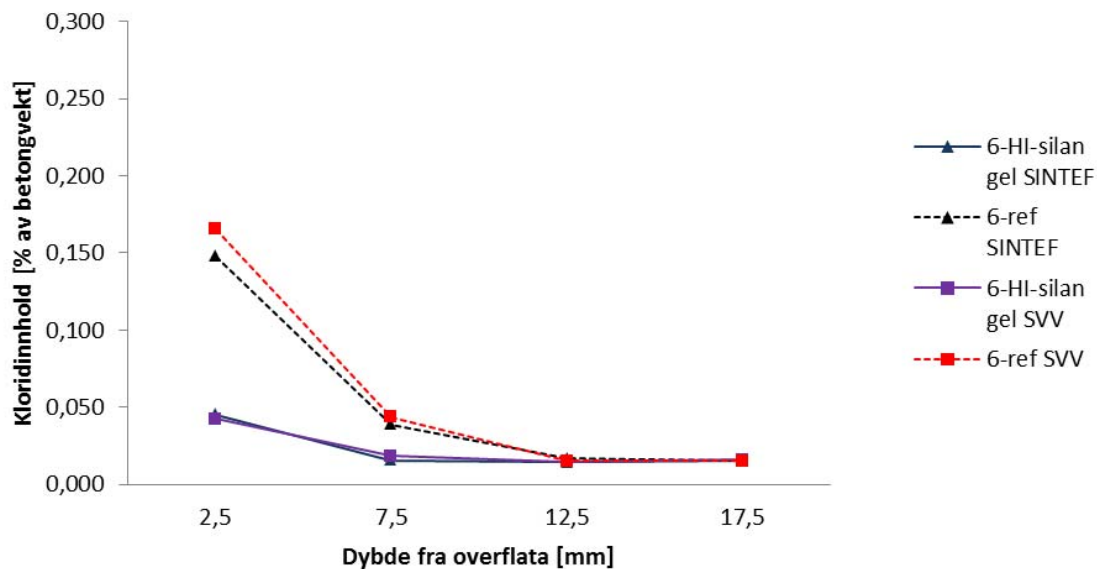
Figur 5 Kloridprofiler fremstilt for prøvestykker påført produkt 4-C-elastisk sementbasert belegg og tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF /5/

5-HI-silan krem



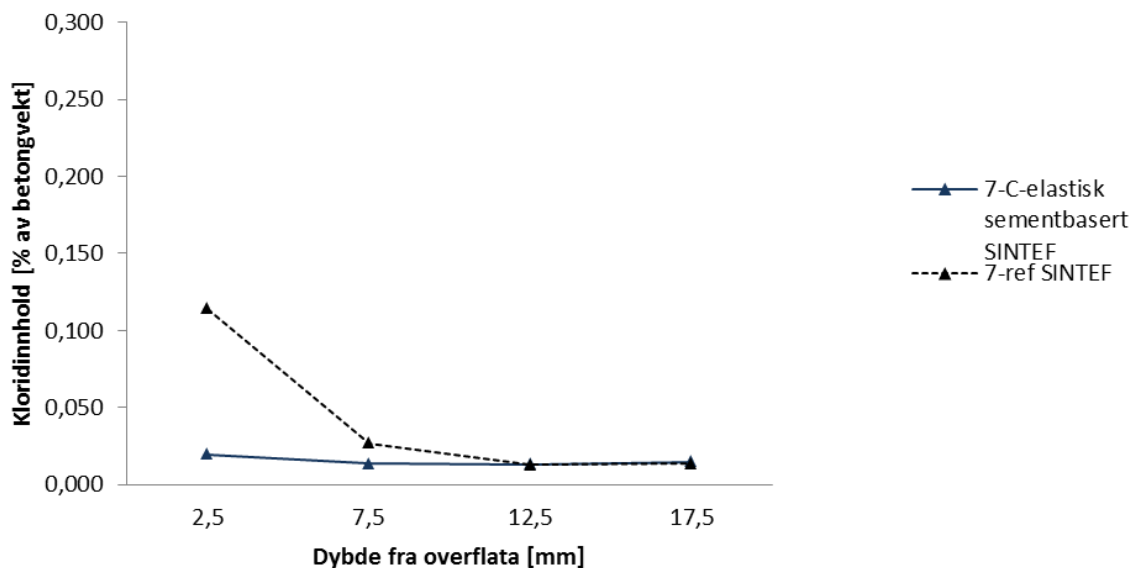
Figur 6 Kloridprofiler fremstilt for prøvestykker påført produkt 5-HI-silan krem og tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF og SVV /5/

6-HI-silan gel



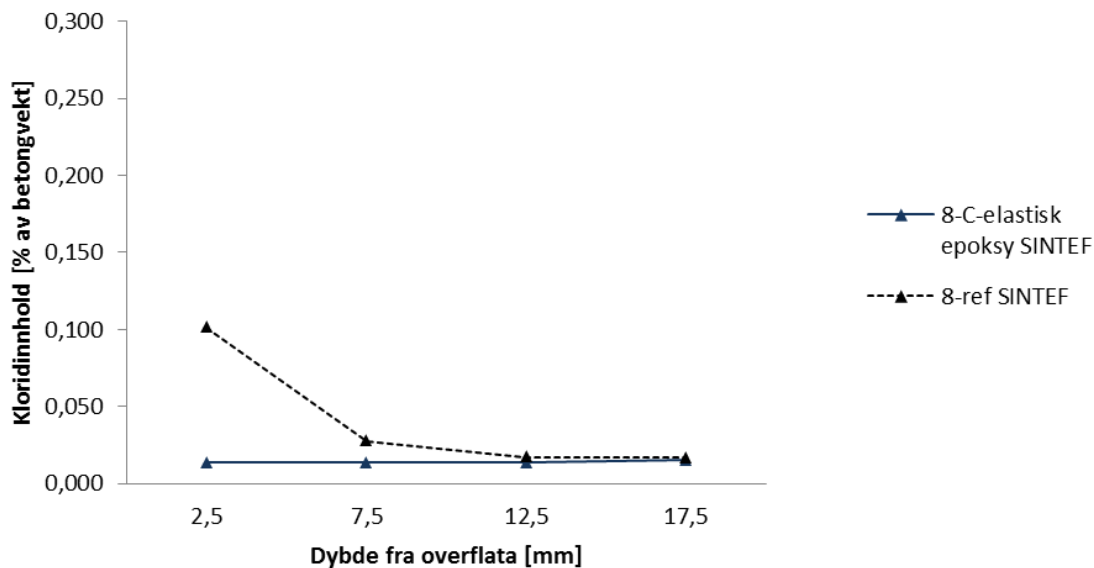
Figur 7 Kloridprofiler fremstilt for prøvestykker påført produkt 6-HI-silan gel og tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF og SVV /5/

7-C-elastic sementbasert



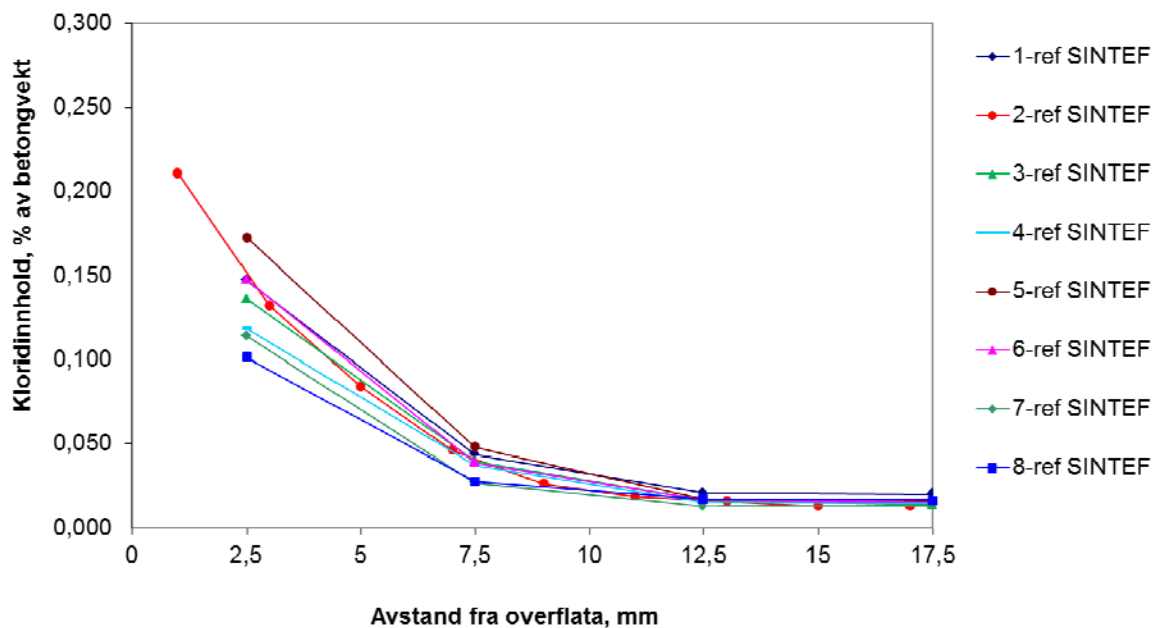
Figur 8 Kloridprofiler fremstilt for prøvestykker påført produkt 7-C-elastic sementbasert belegg og tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF /5/

8-C-elastic epoksy



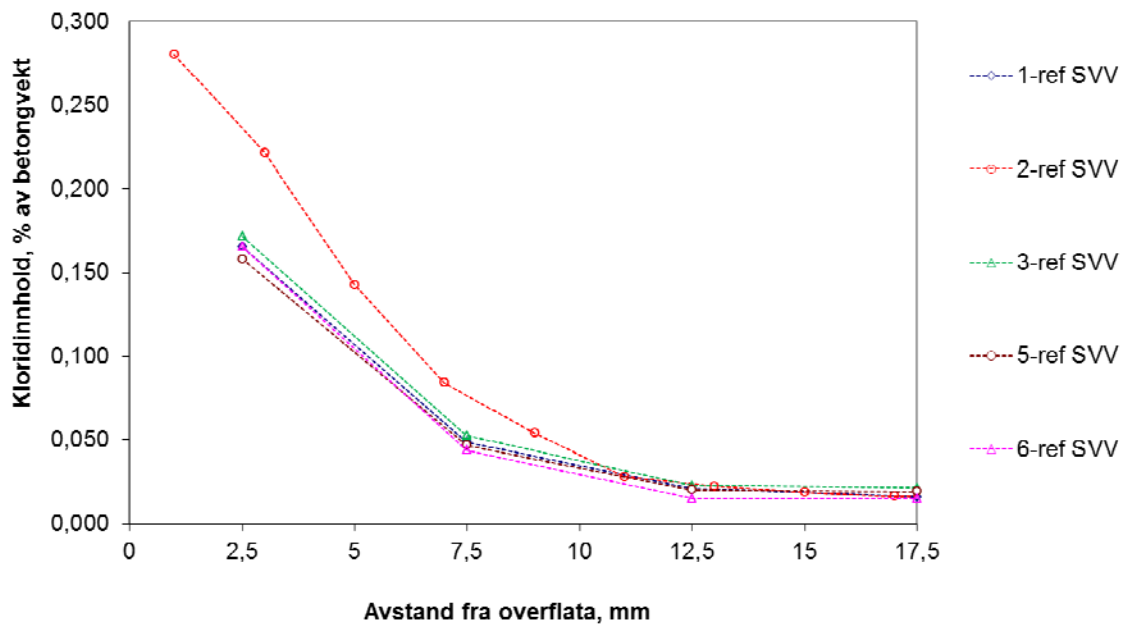
Figur 9 Kloridprofiler fremstilt for prøvestykker påført produkt 8-C-elastic epoksybelegg og tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF /5/

Alle referanser - SINTEF



Figur 10 Samleplott – alle kloridprofiler fremstilt fra referanseserier eksponert ved SINTEF, middel av tre paralleller pr serie

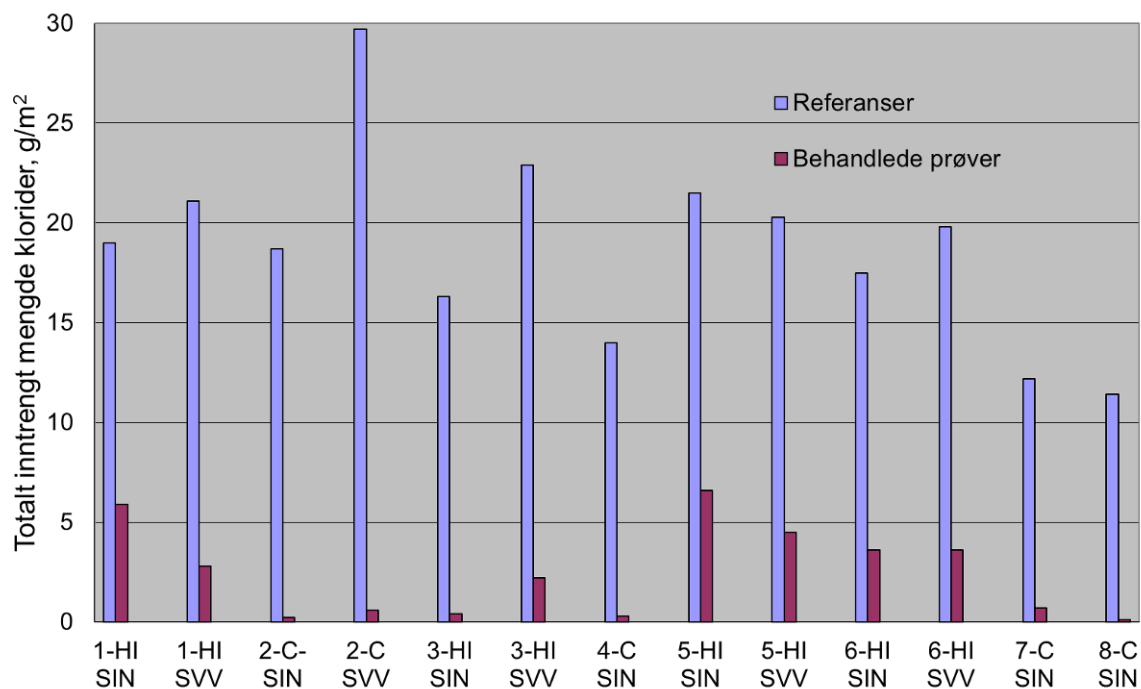
Alle referanser - SVV



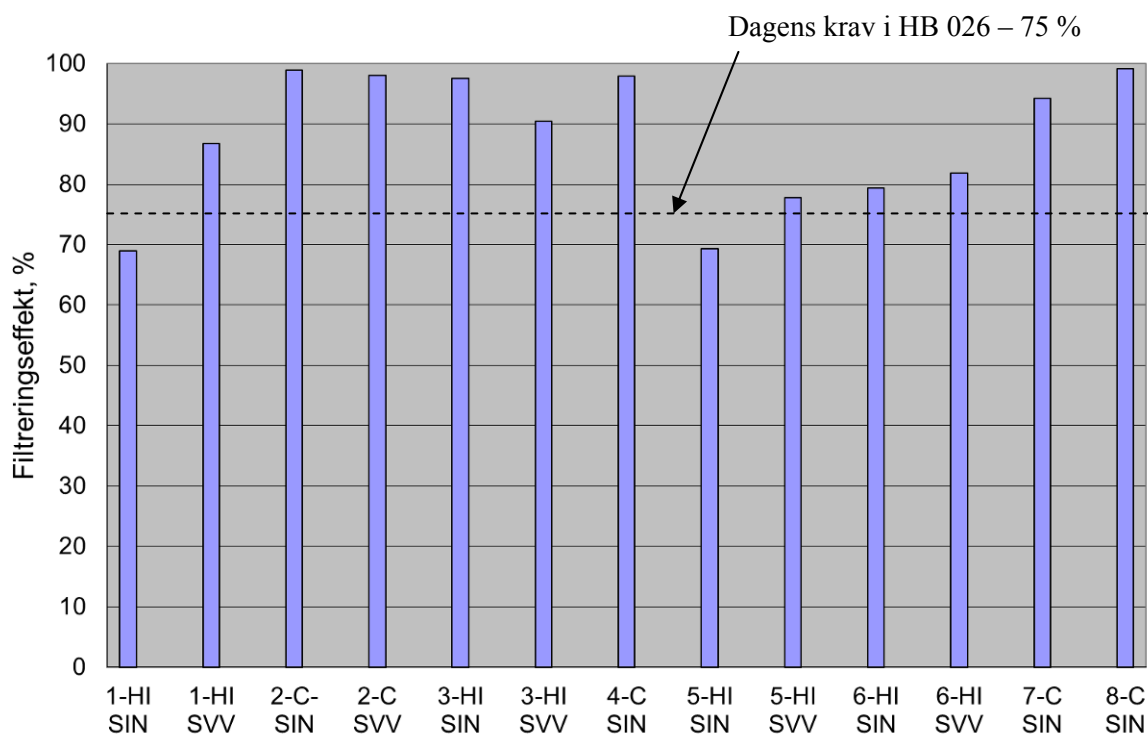
Figur 11 Samleplott – alle kloridprofiler fremstilt fra referanseserier eksponert ved SVV, middel av tre paralleller pr serie

Tabell 2 Beregnet inntrengt mengde klorider pr serie (middel av 3 paralleller), samt filtreringseffekten av produktet i forhold til tilhørende referanse. Statens vegvesens krav til filtreringseffekt er pr i dag $\geq 75\%$.

Produkt	Laboratorium	Inntrengt mengde klorider, g/m ²		Filtrerings-effekt, %
		Behandlede prøver	Referanser	
1-HI-silan krem	SINTEF	5,9	19,0	69
	SVV	2,8	21,1	87
2-C- elastisk sementbasert	SINTEF	0,2	18,7	99
	SVV	0,6	29,7	98
3-HI-siloksan væske	SINTEF	0,4	16,3	98
	SVV	2,2	22,9	90
4-C-elastisk sementbasert	SINTEF	0,3	14,0	98
5-HI-silan krem	SINTEF	6,6	21,5	69
	SVV	4,5	20,3	78
6-HI-silan gel	SINTEF	3,6	17,5	79
	SVV	3,6	19,8	82
7-C-elastisk sementbasert	SINTEF	0,7	12,2	94
8-C-elastisk epoksy	SINTEF	0,1	11,4	99



Figur 12 Beregnet inntrengt mengde klorider pr serie (middel av 3 paralleller), overflatebehandlet og tilhørende referanse



Figur 13 Beregnet filtreringseffekt av hvert produkt. Statens vegvesens krav pr i dag ($\geq 75\%$) er markert i figuren

3.5 Evaluering

Forsøkene har avdekket følgende:

- Kloridinntrengingen i ubehandlede referanser er relativt liten ($\leq 0,05\%$ kloridinnhold i dybde 7,5 mm for alle referanser, med ett unntak)
- Det er stor spredning mellom referanseserier eksponert i kammeret hos SINTEF, se Figur 10. Størst differanse i inntrengt mengde klorider er det mellom referanseseriene 5-ref-SIN og 8-ref-SIN. Inntrengt mengde klorider i 5-ref-SIN er nesten dobbelt så høy som i 8-ref-SIN. Det viser tydelig at det er ulike eksponeringsforhold i ulike deler av kammeret.
- Det er liten spredning mellom referanseserier eksponert i kammeret hos SVV. Unntak gjelder referanseserie 2-ref-SVV som har betydelig høyere kloridinntrenging enn de øvrige serier, se Figur 11. Denne serien er frest i tynnere sjikt (2 mm) enn de øvrige (5 mm), men dette skulle ikke ha betydning for resultatene.
- Det er en viss forskjell mellom eksponeringsbetingelsene i de to kamrene (SINTEF versus SVV), med marginalt høyere kloridinntrenging i SVV-kammeret. Dette er også konstatert ved tidligere ringprøving, og skyldes sannsynligvis forskjeller i vindhastighet i tørkeperiodene, muligens også sprøyteintensitet.

Forskjeller i eksponeringsbetingelser internt i hvert kammer og mellom de to kamrene har i utgangspunktet ikke nødvendigvis så stor betydning så lenge det kjøres egne referanseserier for alle produkter og at disse plasseres nært de behandlede prøvene. Kloridinntrengingen er imidlertid så liten i utgangspunktet, at selv relativt små forskjeller i inntrenging i de ubehandlede referansene kan få stor betydning for vurdering av overflateproduktene (som skal relateres til referansen). Spredningen internt i hver serie blir også større når kloridinntrengingen er liten.

4 FUKTINNHOLDETS BETYDNING FOR INNTRENGING AV HYDROFOBERENDE IMPREGNERING

4.1 Bakgrunn

Betongens fuktinnhold er av stor betydning for inntrengingsdybden av hydrofoberende impregneringer. Statens vegvesens gjeldende regelverk for prøving av slike produkter /1/ ved prøvingsmetode MB71 301 /2/, beskriver påføring av produktene etter 60 minutters tørketid, i luft av $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ og $50\pm 5\%$ RF, fra vannmettet tilstand. Kravet ble opprinnelig satt med bakgrunn i at virkelig brubetong ofte har svært høyt vanninnhold ved påføring av overflatebehandlingsprodukter, og et ønske om å etablere testbetingelser tett opp til virkelige forhold. Erfaringer med bruk av metoden viser at det er svært vanskelig å oppnå målbar inntrenging av impregneringsprodukter med så høyt fuktinnhold i betongen. Det er videre sannsynlig at fuktinnholdet er urealistisk høyt sammenlignet med det som kan oppnås under feltforhold. Ved revisjon av metoden/prøvingsprosedyren er det naturlig å se på effekten av betongens fuktinnhold (tørketid etter vannmetning) på inntrengingsdybden av hydrofoberende impregnering, med tanke på å beskrive en mer egnet tørketid i prosedyren.

For å ha bedre grunnlag for å revidere eksisterende påføringsprosedyre ble det besluttet å undersøke inntrengingsdybden av hydrofoberende impregnering påført etter ulike tørketider etter vannmetting. Det ble samtidig utført veiing av prøvestykker over tid, for å kunne se på utviklingen i fukttap, samt beregne gjennomsnittlig vannmetningsgrad i betongen ved de ulike påføringstidspunkt.

Mange av prøvingsmetodene spesifisert i NS-EN 1504-2 benytter støpehud som eksponeringsflate. For å se på forskjeller mellom de to typer overflater, ble det bestemt å gjennomføre prøvingen både på flater med støpehud og sagflater.

Som testprodukt ble det valgt en silanbasert hydrofoberende impregnering i gelform (samme produkt som 6-HI-silan gel i kapittel 3).

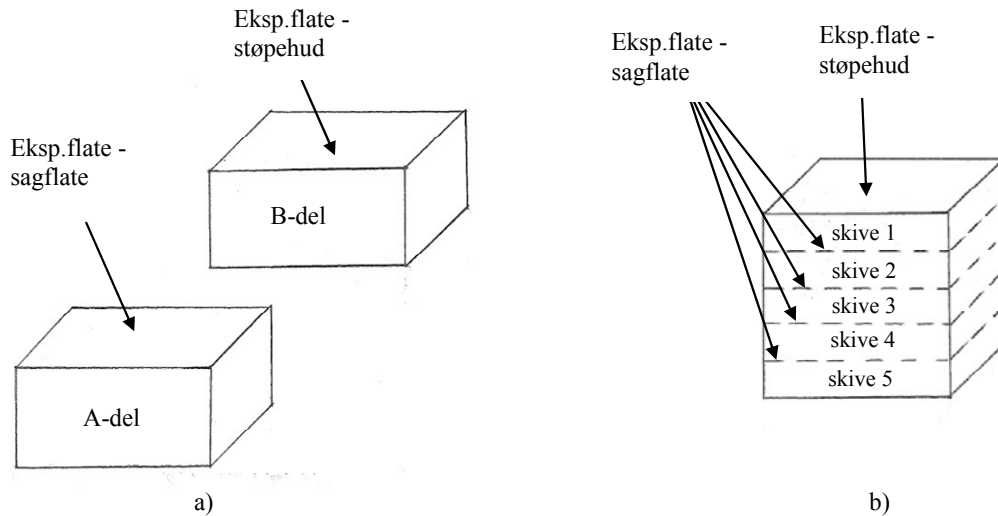
Prøvingen er utført ved SINTEF Byggforsk i Trondheim.

4.2 Prøvingsprosedyre

Følgende prøvingsprosedyre ble beskrevet av Statens vegvesen:

Det støpes ut 25 stk 100 mm terninger, uten formolje. Betongen skal være sammensatt og blandet iht NS 3099, toleranseklasse 1, gruppe 2 ($v/c = 0,45$). Terningene avformes etter 1 døgn og vannlagres deretter i 27 døgn. Alle terninger identifiseres med eget nummer. (Merknad: Betongresept finnes i VEDLEGG 3).

Ved 28 døgns alder gjennomføres trykkprøving av 3 stk terninger. 21 stk terninger sages på tvers av støperetningen i 2 like store deler som merkes med terningnummer og hhv A og B som følger: A-deler skal ha sagflate som eksponeringsflate, B-deler skal ha støpehud som eksponeringsflate, se Figur 1a). Den siste terningen sages på tvers av støperetningen i fem ca 20 mm tykke skiver, se Figur 1b). Skive 1 skal ha støpehud som eksponeringsflate, de øvrige skiver skal ha sagflate som eksponeringsflate. (Merknad: På grunn av uforutsette forhold ble prøvingen forsinket og tildanning av prøvestykker ble startet først ved 50 døgns alder).



Figur 1 Tildanning av prøvestykker fra støpte terninger i a) to halvdeler og b) fem skiver

For prøvestykker tildannet iht Figur 1a) gjelder at én serie prøvestykker består av seks terninghalvdeler, tre A-deler og tilhørende tre B-deler.

Én serie A- og B-deler, samt 5 tilsagede skiver, skal benyttes til å følge fuktutviklingen ved daglig veiing. Resterende seks serier skal påføres hydrofobierende impregnering etter ulike tørketider for etterfølgende bestemmelse av inntrengingsdybder. Type hydrofobierende impregnering som skal benyttes er [testprodukt]. (Merknad: Testproduktet som ble benyttet er det samme som produkt 6-HI-silan gel, jfr Tabell 1).

Etter saging tørkes prøvestykkene i 4 timer i luft av $20 \pm 2^\circ\text{C}$ og $50 \pm 5\%$ RF før sideflatene forsegles med 2 strøk epoksy. Prøvestykker som skal benyttes til veiing over tid skal forsegles med to strøk epoksy på alle sider unntatt eksponeringsflaten. For øvrige serier gjelder at alle sideflater skal forsegles. Eksponeringsflaten skal holdes helt fri for epoksy, mens motstående flate kan påføres epoksy, men dette er ikke nødvendig. Etter at epoksyen er herdet legges prøvestykkene i mettet $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsning i minimum 3 døgn før videre behandling.

Videre behandling er som følger:

- Prøvestykker som skal følges opp ved veiing tas opp av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsningen, veies i vann, tørkes av på alle flater og veies umiddelbart i luft. Prøvestykkene skal deretter plasseres i luft av $20 \pm 2^\circ\text{C}$ og $50 \pm 5\%$ RF og veies på nytt etter hhv 1 time, 4 timer, 24 timer, 48 timer og deretter én gang i døgnet i hele prøveperioden (t.o.m. 14 døgn). Umiddelbart etter siste veiing splittes prøvestykkene i 2 deler på tvers av eksponeringsflaten, løst materiale og støv fjernes og de to splittede delene veies på nytt - før de gis følgende behandling: Neddykking i 10 døgn (vektstabilitet sjekkes), veiing i vann og i luft, neddykking i trykktank i 2 døgn, veiing, og tørking i 10 døgn ved 105°C , veiing. Skivene skal ikke splittes, men ellers følge samme behandlings-/veieprosedyre som A- og B-delene. I tillegg til densitets- og porøsitetsverdier skal også kapillær vannmetningsgrad på ulike veietidspunkt beregnes.
- Øvrige prøveserier tas opp fra $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsningen, tørkes av på alle flater og settes til tork i luft av $20 \pm 2^\circ\text{C}$ og $50 \pm 5\%$ RF i hhv 1 time (serie 1), 4 timer (serie 2), 24 timer (serie 3), 3 døgn (serie 4), 7 døgn (serie 5) og 14 døgn (serie 6). Etter gitt tørketid påføres [testproduktet], mengde 500 g/m^2 , på eksponeringsflatene, før prøvestykkene settes til tork i 7 døgn. Etter 7 døgn børstes overskytende [testprodukt] av eksponeringsflaten før prøvestykkene splittes i to halvdeler vinkelrett på eksponeringsflate (NB! Splitteknivene settes mot sideflatene, ikke mot eksponeringsflata). Én halvdel tas ut til prøving og legges i klimarom ved $20 \pm 2^\circ\text{C}$ og $50 \pm 5\%$ RF i

1 døgn før måling av inntrengingsdybde. Inntrengingsdybden måles iht SINTEF metodebeskrivelse MB 71 127, med forsiktig drypping av vann på bruddflaten i stedet for dypping i vann. Ubehandlede prøvestykker og splittede halvdelar må holdes adskilt fra prøvestykker med [testprodukt] for å unngå forurensing med luftbåren impregnering.

(Merknad: Testproduktet som ble benyttet er det samme som produkt 6-HI-silan gel, jfr Tabell 1)

4.3 Resultater

4.3.1 Generelt

Alle resultater er rapportert i SINTEF prøvingsrapport nr 70306 /6/ (arkivert i SVEIS – dokumentnr 2010174185-69).

4.3.2 Trykkfasthet

Betongens trykkfasthet ble bestemt til 57,6 MPa ved 28 døgns alder (middel av 3 terninger).

4.3.3 Fuktutvikling i betongen over tid - kapillær vannmetning

Verdier for porøsitet og densitet er beregnet for hver skive/halvterning med utgangspunkt i prøvestykkenes vekt etter følgende behandling: 1) Vannmetning ved neddykking i vann (målt i luft og vann), 2) Trykkmetning ved neddykking i vann i trykketank ved 50 atm. og 3) Tørring ved 105 °C

Med bakgrunn i ovennevnte vektdata er følgende verdier er bestemt:

- Sugporøsitet = (vekt etter neddykking-tørrvekt)/volum
- Makroporøsitet/luftinnhold = (vekt etter trykkmetning-vekt etter neddykking)/volum
- Betongens densitet i ulike fukttilstander
- Betongens faststoffdensitet = tørrvekt/ netto volum (netto volum = ytre volum-porevolum)

Resultatene er presentert i Tabell 3.

Tabell 3 Porøsitetsverdier og densiteter for ulike prøvestykker /6/

Prøve merket	4A		4B		Gjennomsnitt
	1	2	1	2	
Sugporøsitet [%]	13,5	13,0	13,2	12,8	13,1 ± 0,3
Makroporøsitet (luft) [%]	1,0	1,0	0,9	0,7	0,9 ± 0,1
PF-verdi	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06 ± 0,01
Sugmettet densitet [kg/m ³]	2383	2395	2392	2393	2391 ± 6
Trykkmettet densitet [kg/m ³]	2392	2405	2401	2401	2400 ± 5
Faststoffdensitet [kg/m ³]	2628	2635	2631	2620	2629 ± 6
Tørrdensitet [kg/ m ³]	2247	2264	2260	2265	2259 ± 8

Prøve merket	5A		5B		Gjennomsnitt
	1	2	1	2	
Sugporøsitet [%]	13,0	12,9	13,4	13,2	13,2 ± 0,2
Makroporøsitet (luft) [%]	0,8	0,9	0,8	1,0	0,9 ± 0,1
PF-verdi	0,06	0,07	0,06	0,07	0,06 ± 0,01
Sugmettet densitet [kg/m ³]	2390	2384	2388	2385	2387 ± 3
Trykkmettet densitet [kg/m ³]	2397	2393	2396	2395	2396 ± 2
Faststoffdensitet [kg/m ³]	2621	2616	2628	2626	2623 ± 6
Tørrdensitet [kg/ m ³]	2259	2254	2254	2253	2255 ± 3

Prøve merket	6A		6B		Gjennomsnitt
	1	2	1	2	
Sugporøsitet [%]	13,4	13,1	13,2	13,2	13,2 ± 0,1
Makroporøsitet (luft) [%]	1,1	0,9	0,9	0,8	0,9 ± 0,1
PF-verdi	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06 ± 0,01
Sugmettet densitet [kg/m ³]	2362	2379	2389	2392	2381 ± 14
Trykkmettet densitet [kg/m ³]	2373	2388	2398	2400	2390 ± 13
Faststoffdensitet [kg/m ³]	2604	2615	2628	2628	2619 ± 12
Tørredensitet [kg/ m ³]	2228	2248	2257	2261	2249± 14

Prøve merket	25					Gjennomsnitt
	1	2	3	4	5	
Sugporøsitet [%]	12,5	13,4	13,9	13,1	13,1	13,2 ± 0,5
Makroporøsitet (luft) [%]	0,7	1,5	1,6	1,7	1,1	1,3 ± 0,4
PF-verdi	0,05	0,10	0,10	0,11	0,08	0,09 ± 0,03
Sugmettet densitet [kg/m ³]	2391	2385	2375	2381	2376	2382 ± 7
Trykkmettet densitet [kg/m ³]	2397	2400	2391	2398	2387	2395 ± 6
Faststoffdensitet [kg/m ³]	2610	2646	2645	2641	2617	2632 ± 17
Tørredensitet [kg/ m ³]	2265	2251	2237	2250	2244	2249 ± 11

Vekttap over tid er et direkte uttrykk for tap av vann over tid. Det er å forvente samme vekttap fra alle prøvestykker med samme type overflate (sagflate eller støpehud), uavhengig av tykkelse, ettersom arealet av overflata der fuktutvekslingen skjer er den samme (100 x 100 mm²). Vekttap over tid for alle prøvestykker (både halvterninger og skiver) er vist i Tabell 4 og fremstilt grafisk i Figur 14.

Kapillær vannmetningsgrad er i tillegg beregnet for skivene, som
(vekt ved gitt tidspunkt - tørrvekt) / (vekt ved start - tørrvekt)

Beregnet kapillær vannmetningsgrad for skivene, som representerer de ytre ca 17 mm fra eksponeringsflaten, er vist i Tabell 5. Utviklingen over tid er fremstilt grafisk i Figur 15.

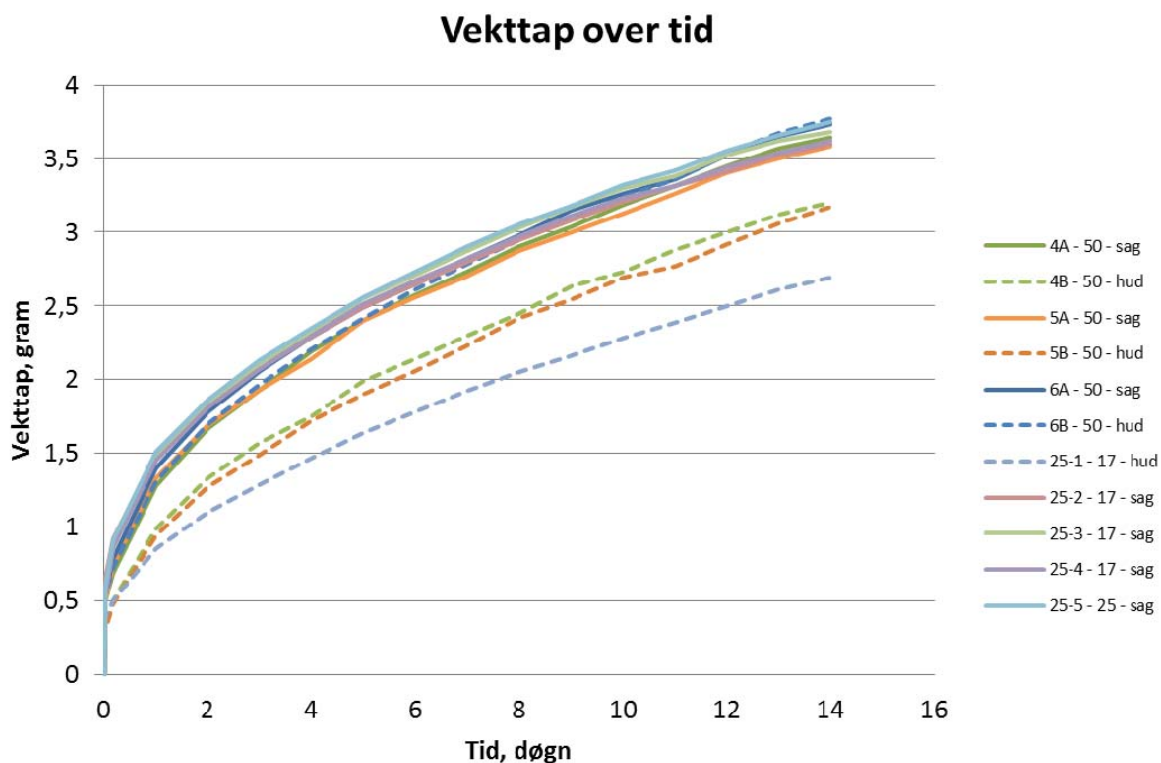
Tabell 4 Vekttap over tid for alle prøvestykker, både halvterninger og skiver, sagflate og støpehud. Tykkelsen av de ulike prøvestykker er også gitt /6/

Tørketid etter vannmetning		Vekttap over tid, gram										
		Halvterninger						Skiver				
		4A	4B	5A	5B	6A	6B	25-1	25-2	25-3	25-4	25-5
Timer/ døgn	Timer	sag t=50 mm	hud t=50 mm	sag t=50 mm	hud t=50 mm	sag t=50 mm	hud t=50 mm	hud t=17 mm	sag t=17 mm	sag t=17 mm	sag t=17 mm	sag t=25 mm
1 t	1	0,50	0,33	0,51	0,31	0,55	0,54	0,39	0,65	0,56	0,55	0,60
4 t	4	0,69	0,50	0,74	0,48	0,79	0,73	0,50	0,92	0,86	0,87	0,91
24 t	24	1,28	0,99	1,33	0,94	1,40	1,31	0,85	1,48	1,47	1,45	1,51
2 d	48	1,67	1,33	1,69	1,27	1,78	1,70	1,10	1,83	1,84	1,81	1,86
3 d	72	1,93	1,57	1,93	1,49	2,06	1,97	1,29	2,07	2,11	2,07	2,13
4 d	96	2,19	1,75	2,14	1,72	2,29	2,21	1,47	2,29	2,32	2,30	2,35
5 d	120	2,40	1,99	2,40	1,90	2,49	2,42	1,64	2,49	2,55	2,51	2,56
6 d	144	2,57	2,14	2,56	2,06	2,65	2,61	1,78	2,65	2,71	2,67	2,73
7 d	168	2,73	2,30	2,70	2,23	2,82	2,78	1,92	2,80	2,87	2,82	2,90
8 d	192	2,90	2,45	2,87	2,42	2,98	2,95	2,05	2,95	3,03	2,97	3,05
9 d	216	3,04	2,63	3,00	2,54	3,15	3,10	2,16	3,08	3,17	3,11	3,18
10 d	240	3,19	2,73	3,13	2,69	3,26	3,24	2,28	3,21	3,30	3,23	3,32
11 d	264	3,31	2,88	3,26	2,77	3,36	3,36	2,39	3,31	3,38	3,31	3,42
12 d	288	3,45	3,00	3,40	2,92	3,52	3,54	2,50	3,41	3,52	3,44	3,55
13 d	312	3,57	3,12	3,50	3,06	3,65	3,67	2,61	3,52	3,62	3,54	3,66
14 d	336	3,64	3,20	3,58	3,17	3,73	3,77	2,69	3,60	3,68	3,62	3,75

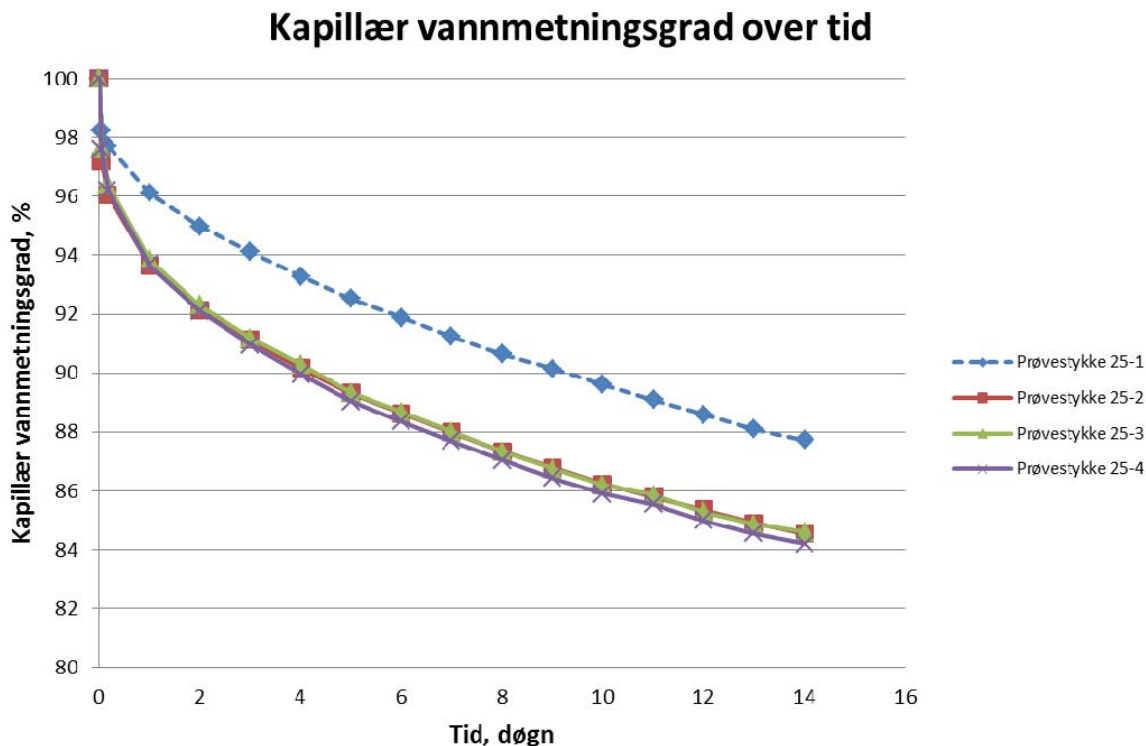
Tabell 5 Beregnet kapillær vannmetningsgrad for prøvestykker i skiveform

Tid	Kapillær vannmetningsgrad [%]				
	25 – 1	25 – 2	25 – 3	25 – 4	24 – 5 ^{*)}
Start	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1 time	98,26	97,18	97,63	97,56	98,14
4 timer	97,77	96,01	96,36	96,14	97,19
24 timer	96,20	93,58	93,77	93,56	95,33
48 timer	95,09	92,06	92,21	91,97	94,25
3 døgn	94,24	91,02	91,06	90,81	93,41
4 døgn	93,43	90,07	90,17	89,79	92,73
5 døgn	92,68	89,20	89,20	88,86	92,08
6 døgn	92,05	88,51	88,52	88,15	91,56
7 døgn	91,42	87,86	87,84	87,48	91,03
8 døgn	90,84	87,21	87,17	86,82	90,57
9 døgn	90,35	86,64	86,57	86,20	90,17
10 døgn	89,82	86,08	86,02	85,66	89,73
11 døgn	89,33	85,65	85,68	85,31	89,42
12 døgn	88,83	85,21	85,09	84,73	89,02
13 døgn	88,34	84,74	84,67	84,29	88,68
14 døgn	87,99	84,39	84,41	83,93	88,40

^{*)} På grunn av større tykkelse inneholdt skive 5 mer vann i forhold til tilgjengelig area for vanntap. Beregnet kapillær vannmetningsgrad kan dermed ikke sammenlignes med de øvrige skiver, og verdiene er derfor utelatt fra Figur 15.



Figur 14 Målt vekttap for samtlige prøvestykker over perioden 0-14 døgn. Heltrukne linjer representerer prøvestykker med sagflate, stiplede linjer representerer støpehud



Figur 15 Beregnet kapillær vannmetningsgrad for 17 mm tykke skiver over perioden 0-14 døgn etter vannmetning. Skive 25-1 (stiplet linje) har eksponeringsflate av støpehud, øvrige skiver har sagflate

4.3.4 Inntrengingsdybde av hydrofobierende impregnering

Iht beskrevet prosedyre ble inntrengingsdybden av impregneringen målt 7 døgn etter påføring. Fra påføring av produktet til splitting av prøvestykkene og påføring av vann/måling ble prøvestykkene oppbevart i luft av 20 ± 2 °C og 50 ± 5 % RF.

Første gangs målinger utført 7 døgn etter påføring ga svært beskjedne inntrengingsdybder og liten sammenheng med tørketid. Med bakgrunn i resultatene ble det besluttet å foreta nye målinger ca fire måneder etter første måling. I perioden fra første til andre gangs målinger var prøvestykkene oppbevart i plastposer eller luft, men alle prøvestykker lå lagret i luft den siste måneden før måling. Andre gangs målinger ble utført 07.03.2012. Prøvestykkene ble splittet slik at det ble ca 50 x 50 mm bruddflate å måle på. De splittede prøvestykkene ble lagret i avtrekksskap ved 23 °C i to døgn for påføring av vann på bruddflatene. Vannet ble påført forsiktig fra nedre kant opp mot impregnert sone. Påføringen ble avsluttet ved tydelig vannfront mot vannavstøtende sone. Det ble målt maksimum og minimum inntrengingsdybde, samt foretatt en vurdering av midlere inntrengingsdybde for prøvestykket. Tilslag ble utelatt ved måling og vurdering av middelverdi.

Resultatene fra andre gangs målinger er presentert i Tabell 6 og middelverdiene for hver serie presentert grafisk i Figur 16a.

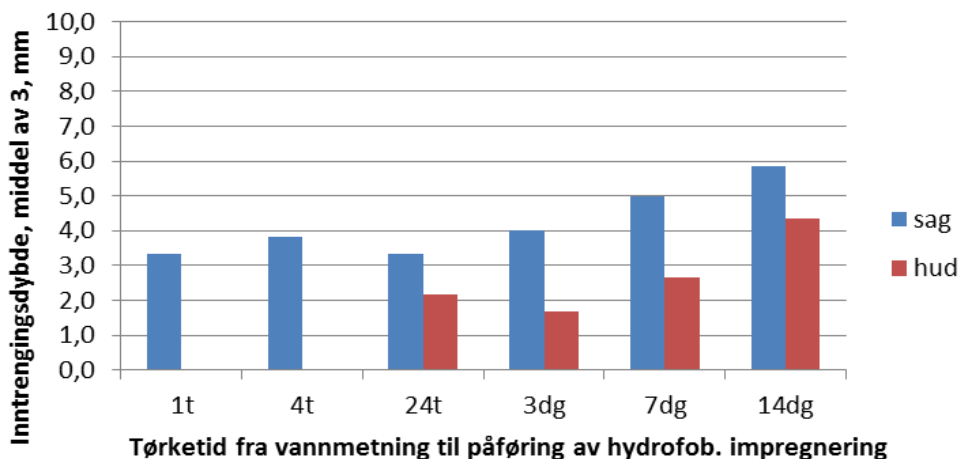
Sammenhengen mellom målte inntrengingsdybder og vekttap (fukttap fra vannmettet tilstand) ved påføringstidspunktet, er vist i Figur 16b.

Foto av prøvestykkene etter påføring av vann er vist i Figur 17-22.

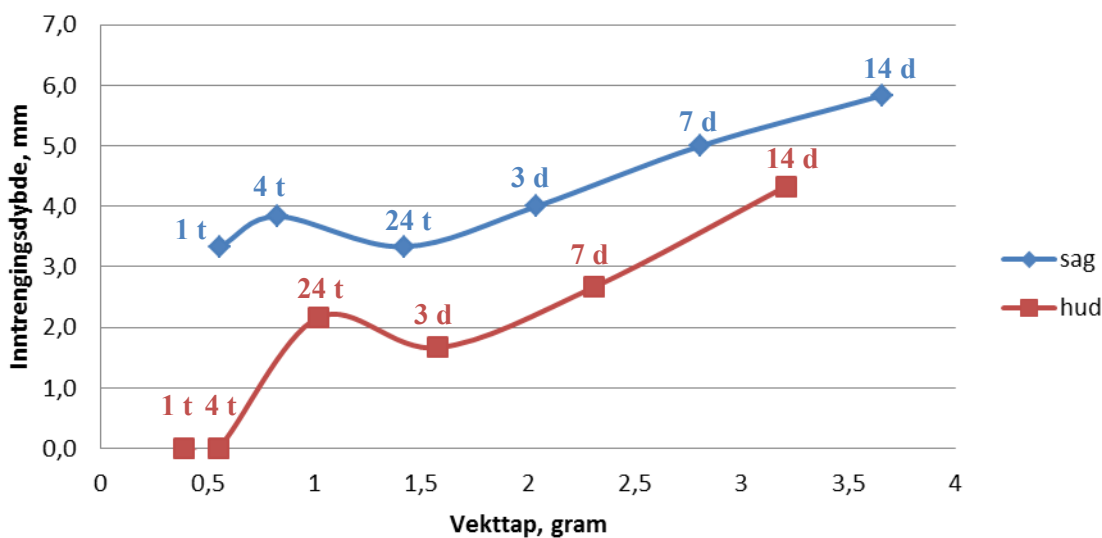
Tabell 6 Målt inntrengingsdybde av hydrofobereende impregnering, ca 4 mnd etter påføring av produktet /6/

Tørketid for påføring	Eksponeeringsflate	Prøvestykke	Inntrengingsdybde, mm		
			Variasjonsområde	Anslått middel pr prøvestykke	Middel pr serie
1 time	Sagflate	7A	2-5	4	3,3
		8A	2-5,5	4	
		9A	0-3	2	
	Støpehud	7B	0-1	≈ 0	0
		8B	0-2	≈ 0	
		9B	0-4	≈ 0	
4 timer	Sagflate	10A	2-6	4,5	3,8
		11A	1,5-5,5	3,5	
		12A	2-4,5	3,5	
	Støpehud	10B	0-1	≈ 0	0
		11B	0-2	≈ 0	
		12B	0-2	≈ 0	
24 timer	Sagflate	13A	2-6	4	3,3
		14A	2-4	3	
		15A	1,5-6	3	
	Støpehud	13B	0-4,5	1,5	2,2
		14B	0-6	2,5	
		15B	1,5-4,5	2,5	
3 døgn	Sagflate	16A	2-4,5	3	4,0
		17A	2-7	4	
		18A	2-8	5	
	Støpehud	16B	0-1	≈ 0	1,7
		17B	0-4,5	2	
		18B	0-4,5	3	
7 døgn	Sagflate	19A	3,5-7,5	5	5
		20A	4-6	5	
		21A	2-7	5	
	Støpehud	19B	0-5	2,5	2,7
		20B	0-5	3,5	
		21B	0-4	2	
14 døgn	Sagflate	22A	4-7	5,5	5,8
		23A	5-9	6	
		24A	4-10	6	
	Støpehud	22B	2-6	4	4,3
		23B	5	5	
		24B	3-6	4	

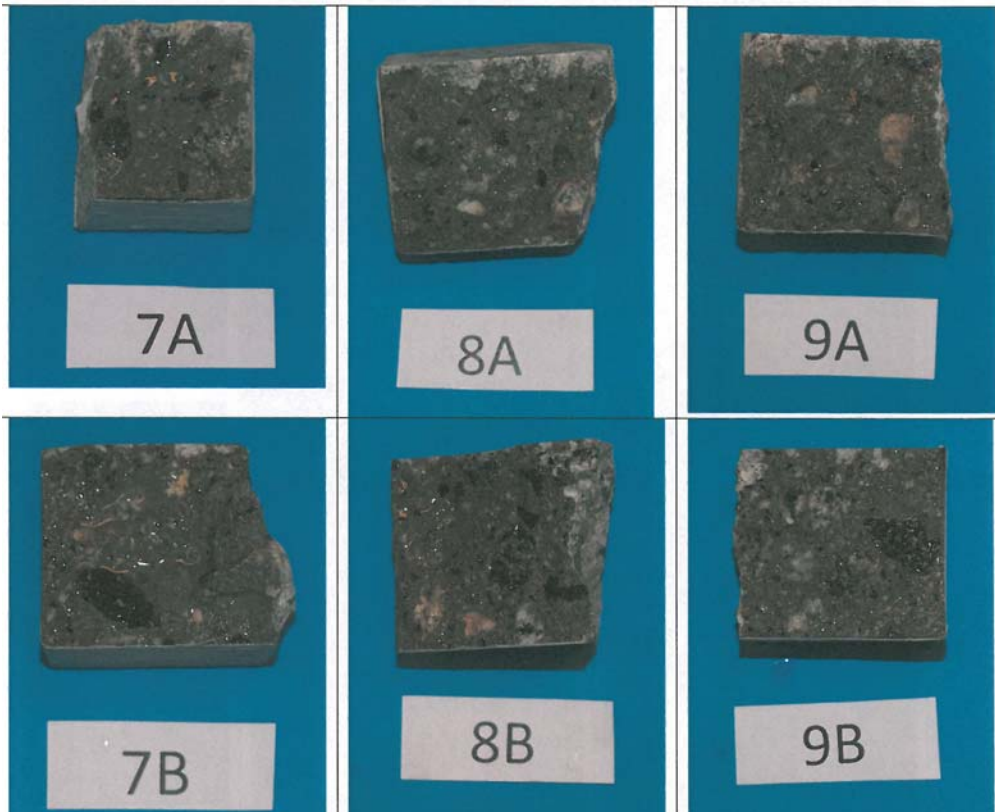
Effekt av tørketid (v/c 0,45)



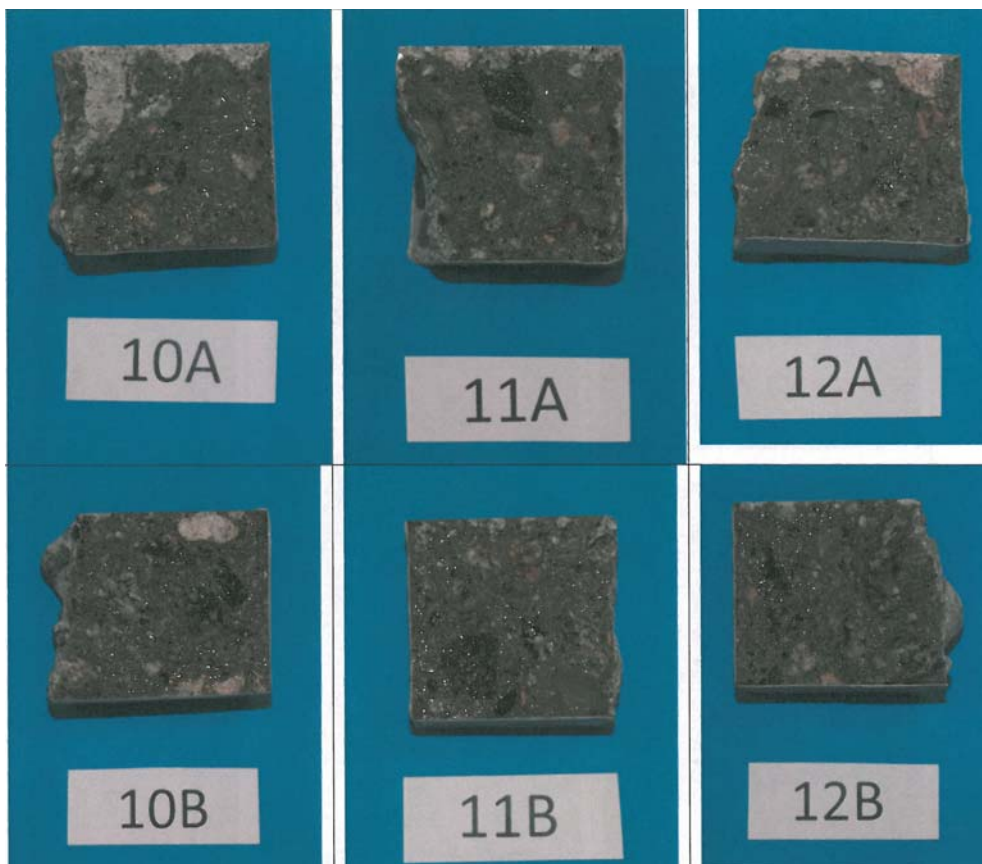
Figur 16a Målt inntrengingsdybde av hydrofoberende impregnering påført ved ulike fuktinnhold i betongen (tørketider etter vannmetning), hhv på sagflate og støpehud



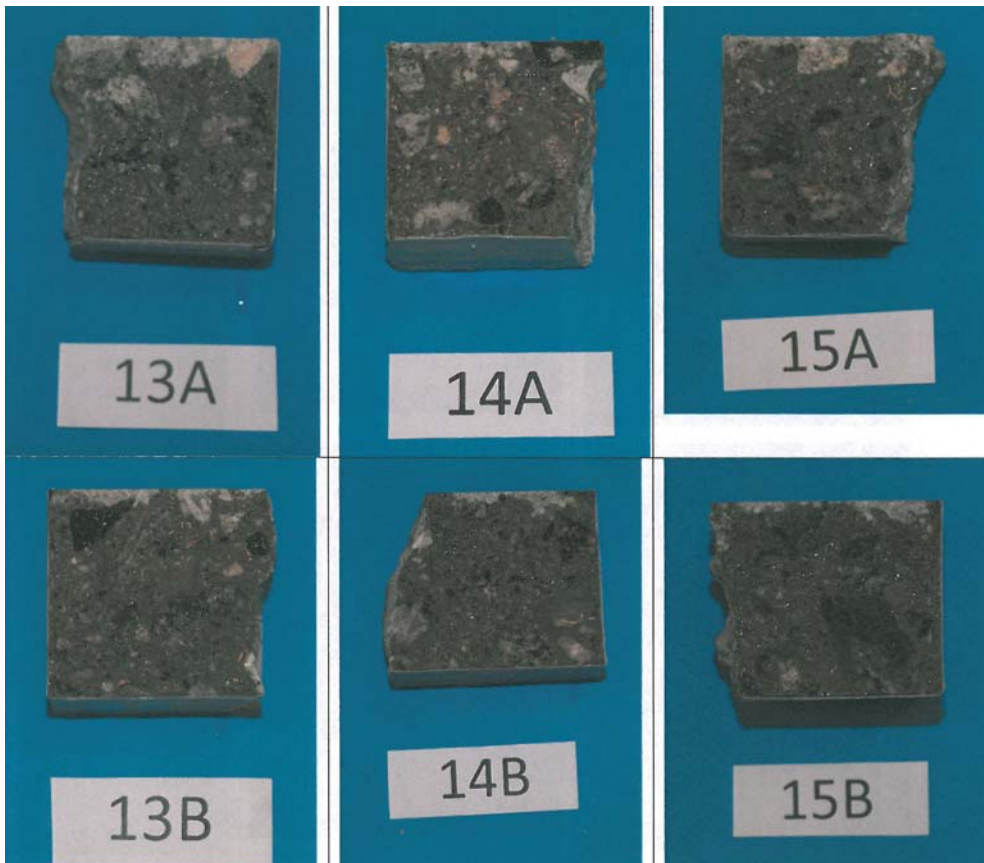
Figur 16b Midlere målt inntrengingsdybde av hydrofoberende impregnering ved ulike påføringstidspunkt, sammenholdt med midlere vekttap av prøvestykker ved samme tidspunkt. Tidspunkt for veiing av prøvestykker og påføring av impregnering, etter opptak fra $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsning, er angitt over grafene.



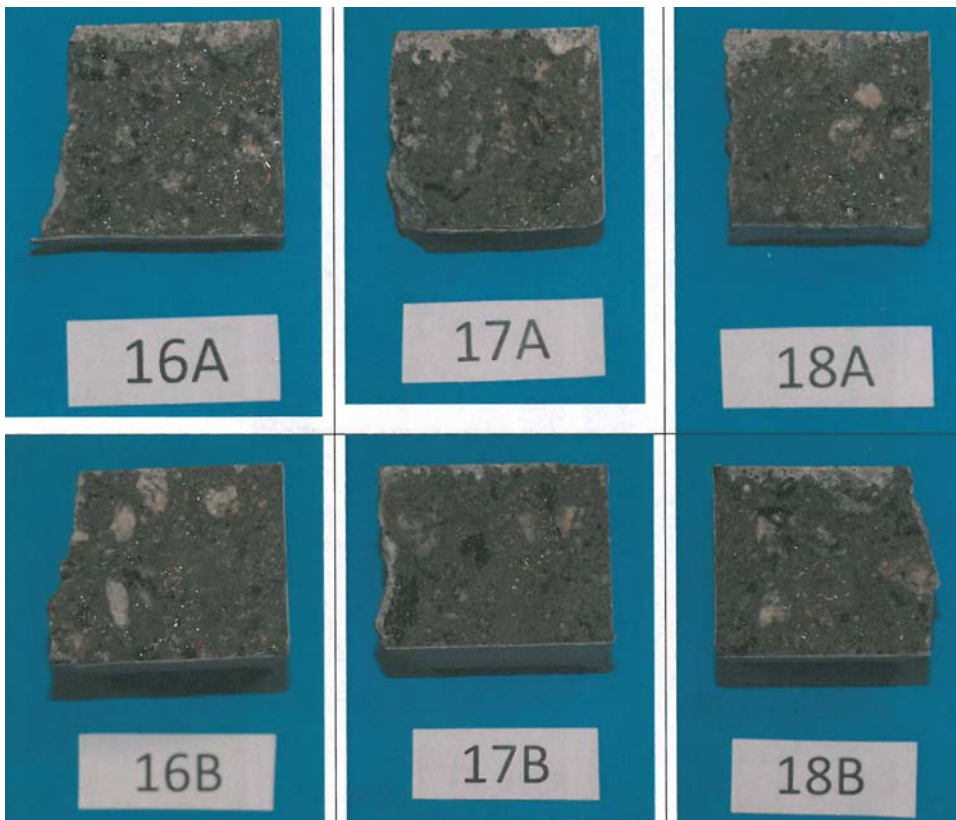
Figur 17 Bruddflate påført vann, ca 4 mnd etter påføring av hydrofobierende impregnering. Prøver tørket 1 time før påføring av produkt. A=sagflate, B=støpehud /6/



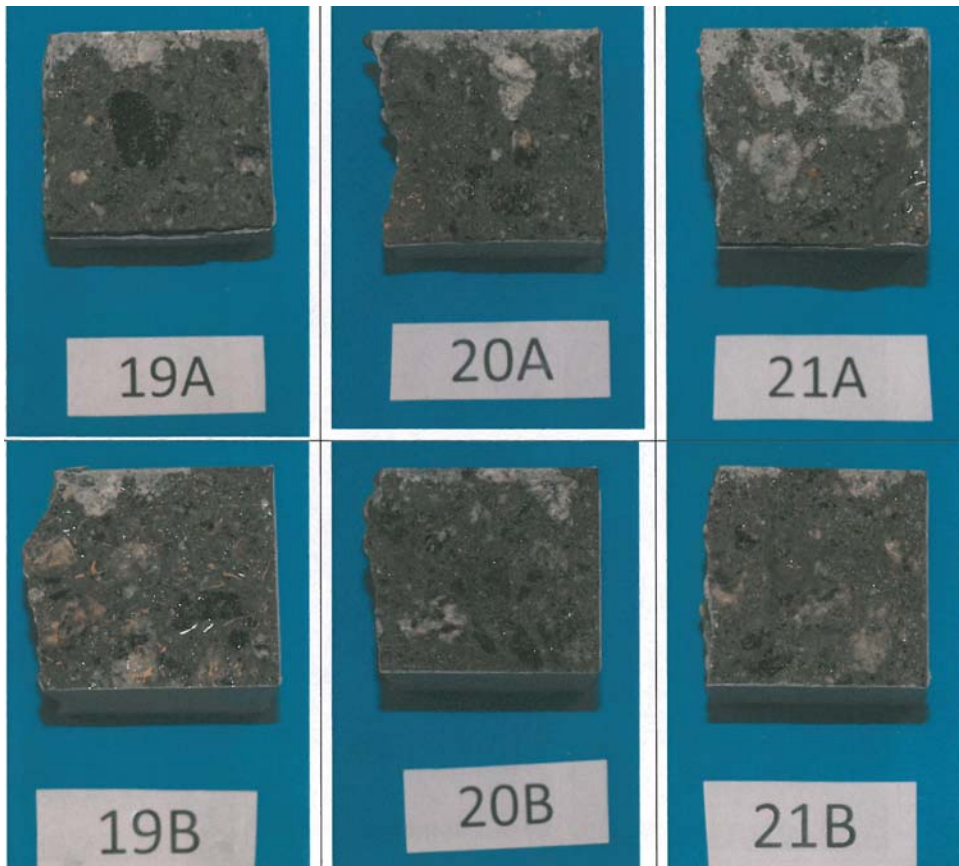
Figur 18 Bruddflate påført vann, ca 4 mnd etter påføring av hydrofobierende impregnering. Prøver tørket 4 timer før påføring av produkt. A=sagflate, B=støpehud /6/



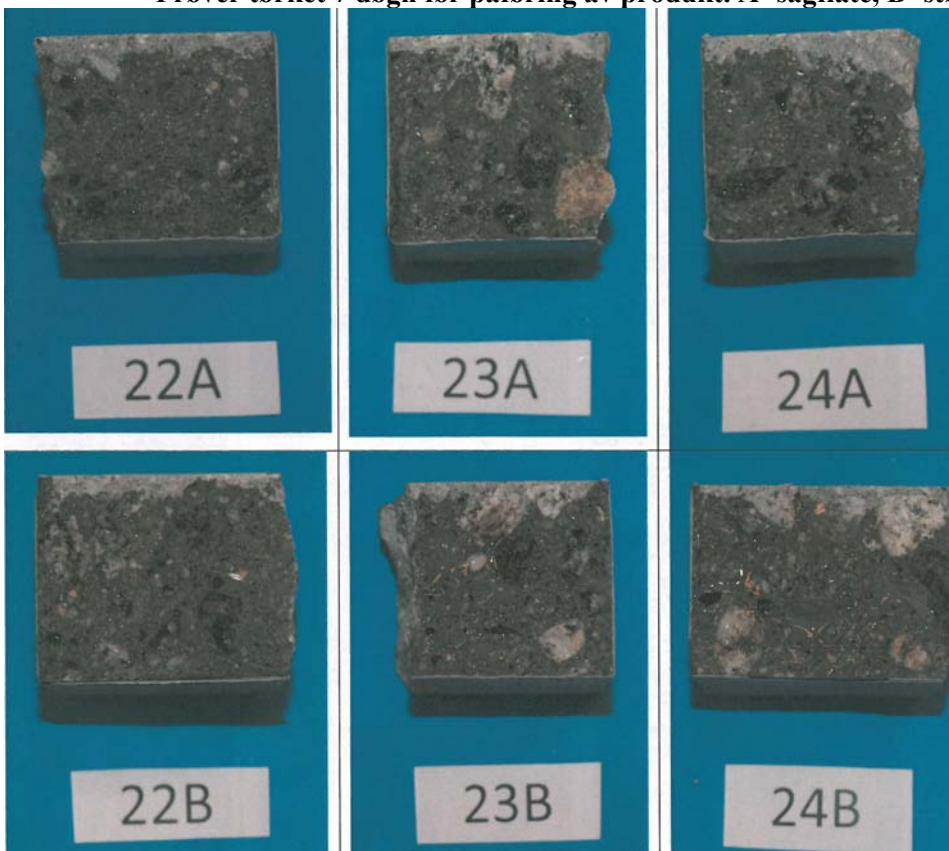
Figur 19 Bruddflate påført vann, ca 4 mnd etter påføring av hydrofoberende impregnering. Prøver tørket 24 timer før påføring av produkt. A=sagflate, B=støpehud /6/



Figur 20 Bruddflate påført vann, ca 4 mnd etter påføring av hydrofoberende impregnering. Prøver tørket 3 døgn før påføring av produkt. A=sagflate, B=støpehud /6/



Figur 21 Bruddflate påført vann, ca 4 mnd etter påføring av hydrofobierende impregnering. Prøver tørket 7 døgn før påføring av produkt. A=sagflate, B=støpehud /6/



Figur 22 Bruddflate påført vann, ca 4 mnd etter påføring av hydrofobierende impregnering. Prøver tørket 14 døgn før påføring av produkt. A=sagflate, B=støpehud /6/

4.4 Evaluering

Resultatene viser at det er:

- Først etter 3 døgn (sagflate) og 7 døgn (støpehud) er det observert en tilnærmet lineær sammenheng mellom tørketid og inntrengingsdybde.
- Liten spredning i fukttapsdata fra overflater med sagflate (totalt 7 prøvestykker)
- Stor spredning i fukttapsdata fra overflater med støpehud (totalt 4 prøvestykker)
- Større fukttap fra sagflater enn fra støpehud i de fleste tilfeller. Unntak gjelder for én halvturning med støpehud – det største fukttapet av alle er målt på dette prøvestykket. Resultatene indikerer at støpehuden i de fleste tilfeller er tettere enn en sagflate.
- Større intern spredning i målt inntrengingsdybde når produktet er påført støpehud

5 PRØVING IHT ULIKE KLORIDEKSPONERINGSMETODER

5.1 Bakgrunn

I Norge har klorideksponering av overflatebehandlet betong vært utført i kloridpåsprøytingskammer, ved syklisk påsprøyting av 3 % NaCl-løsning og tørking. Metoden ble utviklet for å simulere klorideksponeringen betong i sprut-/tidevannsonen blir utsatt for. Tidligere prøving (se kapittel 3) har avdekket en del svakheter ved metodens reproduserbarhet.

Trafikverket i Sverige og Finland har i flere år hatt eksponeringsmetoder basert på permanent neddykking i 15 % NaCl-løsning i 56 døgn.

Neddykking i en løsning med forhøyet kloridinnhold utover sjøvannskonsentrasjon er en besnærende metode, både med tanke på de stabile, lett reproduerbare eksponeringsforhold og den akselererte inntrengingen denne metoden representerer. I Norge har NT Build 443 - metoden /7/ (permanent neddykking i 16,5 % NaCl-løsning i 35 døgn) vært mye brukt ved dokumentasjon av ulike betongsammensetningers kloridmotstand, med positive erfaringer. Permanent neddykking i kloridløsning kan i utgangspunktet synes som en lite relevant metode for hydrofoberende impregneringer, i og med at disse fortrinnsvis skal ha som formål å være vannavvisende på konstruksjonsdeler som er utsatt for sjøsprut o.l., og ikke er beregnet for permanent neddykkede deler av konstruksjonen. Produktene er videre diffusjonsåpne og det er nærliggende at en neddykkingsmetode vil gi en «for hard» eksponering.

Med bakgrunn i svenske og finske erfaringer med neddykking, ønsket imidlertid Statens vegvesen å gjennomføre en parallell eksponering av likt tildannede prøvestykker i ulike klorideksponeringsmiljøer, herunder eksponering i kloridpåsprøytingskammeret.

Som testprodukt ble det valgt en silanbasert hydrofobereende impregnering i gelform (samme produkt som 6-HI-silan gel i kapittel 3).

Prøvingen er utført ved Statens vegvesen Sentrallaboratoriet i Oslo.

5.2 Prøvingsprosedyre

Følgende prøvingsprosedyre ble beskrevet av Statens vegvesen:

Tildanning og kondisjonering av prøvestykker

Det støpes ut 18 stk 100 mm betongterninger, iht NS 3099, toleranseklasse 1, gruppe 2 ($v/c = 0,45$). Terningene avformes etter 1 døgn og legges til herding i vann til 28 døgns alder. Alle terninger identifiseres med eget nummer. (Merknad: Betongresept finnes i VEDLEGG 4).

Ved 28 døgns alder trykkprøves 3 stk terninger.

Ved 28 døgns alder tildannes prøvestykker ved at 15 stk terninger sages i to deler på tvers av støperetningen. Prøvestykkene skylles i vann slik at evt betongslam fra sagingen fjernes.

Terninghalvdelene merkes med terningnummer og hhv A og B. Terninghalvdelene settes på korte plastrørender (med sagflata ned) og tørkes i 4 timer i luft av 50 % RF og 20 °C, før alle flater unntatt sagflata belegges med 2 strøk epoksy. (Merknad: Prøvestykkene ble satt på sponplateklosser i stedet for plastrørender, se foto i Figur 23).

Etter ett døgn settes 15 stk A-prøver og 3 stk B-prøver til kondisjonering i klimarom av 50 % RF og 20 °C i 3 døgn, med sagflata opp. Resterende 12 stk B-prøvestykker settes med sagflata forseglet med plast (f eks ned mot bobleplast) i 20 °C fram til start eksponering (Merknad: Se Figur 24). Disse B-prøvestykkene må holdes adskilt fra overflatebehandlede prøvestykker (hydrofobere impregneringer er flyktige og transporters i luft).

Overflatebehandling av eksponeringsflate

Etter 3 døgn i klimarom påføres [testprodukt] på sagflata til 15 stk A-deler og 3 stk B-deler (de som har stått tørt lagret med sagflata utildekket). Produktet påføres i ett strøk, mengde 500 g/m² (påføres med prøvestykket på tarert vekt). (Merknad: Testproduktet som ble benyttet er det samme som 6-HI-sililan gel, jfr Tabell 1).

«Herding» av overflateprodukt og kondisjonering av referanser før eksponering

Etter påføring av aktuelt produkt settes prøvestykkene til «herding» (inntrenging/polymerisering) ved 50 % RF og 20 °C i 7 døgn, adskilt fra de ubehandlede referansene (B-deler). De behandlede prøvestykkene skal stå med eksponeringsflata opp, i horisontal posisjon i «herdetiden».

Etter 7 døgns «herding» fjernes rester av [testprodukt] fra eksponeringsflatene. Restproduktene legges i plastpose som lukkes godt før de kastes.

6 stk prøvestykker (3 stk A- og 3 stk B-deler) prøves mhp inntrengingsdybde (etter lagring i luft eller ulike kloridmiljø), se siste punkt.

24 stk prøvestykker (12 stk A- og 12 stk B-deler) prøves mhp kloridinntrenging, se etterfølgende punkter.

Eksponering i kloridmiljø

12 stk behandlede (A-deler) og 12 stk ubehandlede (plastforseglete B-deler) prøvestykker eksponeres for fire ulike kloridmiljøer, som følger:

- 1) Ved permanent neddykking i 16,5 % NaCl-løsning (løsning fremstilles og kontrolleres iht prosedyren for NT Build 443)
- 2) Ved vekselvis neddykking i 16,5 % NaCl-løsning (iht NT Build 443) og tørking i luft. Prøvestykkene forflyttes manuelt mellom de to miljøene. Lengden på syklene skal som hovedregel være 2 døgn (1 døgn neddykking/1 døgn tørking), men dette må fravikes i helgene slik at man kan gjennomføre prøvingen innenfor normal arbeidstid (f eks vil prøvestykker som neddykkes på fredag bli liggende i NaCl-løsning til mandag, dvs 3 døgn). Eksponeringsperioden skal starte på en mandag, og første eksponeringssyklus starter med neddykking i NaCl-løsning.

- 3) Ved eksponering på skråstilt rist i kloridpåsprøytingskammeret. Kammeret skal styres etter normal prosedyre med 4 timer sprøyting (3 % NaCl-løsning) og 4 timer tørking.
- 4) Ved permanent neddykking i 3 % NaCl-løsning (løsning fremstilles og kontrolleres iht prosedyren for kloridpåsprøytingskammeret)
- 3 stk A-prøver og tilhørende 3 stk B-prøver (dvs fra samme terningnr) skal eksponeres i hvert av miljøene.

Prøver som skal eksponeres neddykket (permanent eller syklisk) plasseres på rist i beholderen/karet, med eksponeringsflaten i vertikal posisjon og med minimum 5 cm fri avstand mellom prøvestykkene. Behandlede prøvestykker (A-prøver) og ubehandlede prøvestykker (B-prøver) skal eksponeres i adskilte beholdere. Beholderne med NaCl-løsning skal stå i rom med temperatur 20 ± 2 °C. Eksponeringsvæsken skal fylles helt opp og beholderen lukkes med tett lokk. Volumforholdet mellom eksponert betongareal i cm^2 og volum av eksponeringsvæsken i liter, skal være minimum 20 og maksimum 80 (eks: 6 stk prøvestykker med eksponeringsflate $10 \times 10 \text{ cm}^2$ skal legges i mellom 7,5 og 30 liter eksponeringsvæske).

Prøvestykker som følger eksponeringsalternativ 1) og 4) skal ligge permanent neddykket i eksponeringsvæsken i 56 døgn.

Prøvestykker som følger eksponeringsalternativ 2) skal etter 1 døgn neddykking i eksponeringsvæsken tas opp og plasseres på rist i rom av 50 % RF og 20 °C i 1 døgn. Eksponeringssyklusene vil deretter være som følger: 1 døgn neddykking, 1 døgn tørking, 3 døgn neddykking, 1 døgn tørking, 1 døgn neddykking, 1 døgn tørking, 1 døgn neddykking, 3 døgn tørking, ... osv til eksponeringsperioden avsluttes etter totalt 56 døgn. Ved neddykking på fredag vil prøvestykkene bli eksponert i NaCl-løsning i 3 døgn til mandag, tilsvarende ved start tørking på fredag vil prøvestykkene bli eksponert i luft i 3 døgn til mandag. Eksponeringsperioden avsluttes med 3 døgn tørking.

Prøvestykker som følger eksponeringsalternativ 3) skal settes i kloridpåsprøytingskammeret under en tørkeperiode, tidligst en halvtime før første sprøytesyklus.

(Merknad: Prøvestykkene ble lagt til eksponering 23.04.2012).

Bestemmelse av kloridinntrenging

Etter 56 døgn eksponeringstid skal det fra hvert av prøvestykkene (totalt 24 stk) freses betongstøv fra eksponeringsflata i følgende sjikt: 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-12, 12-16, 16-20, 20-25, 25-30 mm. Syreopløselig kloridinnhold bestemmes for hvert sjikt.

Det forventes at kloridinntrengingen i A-prøvene er langt mindre enn i B-prøvene. Etter innledende analyser, kan det besluttes å redusere antall sjikt som skal analyseres.

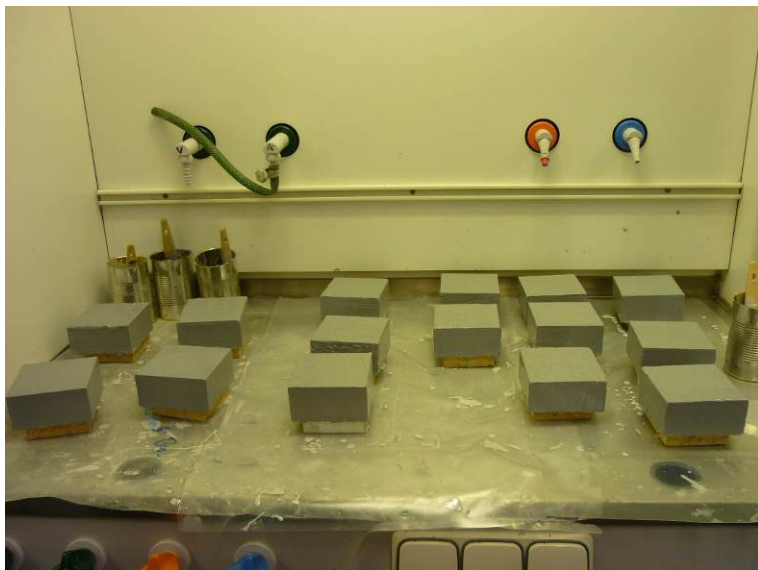
(Merknader: Fresing ble utført i perioden 18-21.06.2012. Prøvestykkene lå pakket i plast ved +5 °C fra avsluttet eksponering til fresing. Kloridanalyser ble utført ved potensiometrisk titrering).

Eksponering, splitting og måling av inntrengingsdybde av [testprodukt]

Seks stk overflatebehandlede terninghalvdeler (3 stk mrk A og 3 stk mrk B) benyttes til bestemmelse av inntrengingsdybde iht SINTEF metodebeskrivelse MB 71 127. Etter at rester av [testprodukt] er fjernet (etter 7 døgn "herding") skal én terninghalvdel undersøkes mhp inntrengingsdybde. De øvrige prøvestykker eksponeres i følgende miljø/tidsperioder (sammen med prøvestykker som skal undersøkes mhp kloridinntrenging) før splitting:

- I rom av 50 % RF og 20 °C i 56 døgn
- I 16,5 % NaCl-løsning, permanent neddykket, i 56 døgn
- Periodisk neddykket i 16,5 % NaCl-løsning, med sykler som beskrevet over, i totalt 56 døgn
- I kloridpåsprøytingskammeret, på rist, i 56 døgn
- I kloridpåsprøytingskammeret, permanent neddykket i bunnkar, i 56 døgn

Etter at prøvestykkene er splittet skal de ligge 1 døgn i klimaskap før påføring av vann og måling av inntrengingsdybde.



Figur 23 Foto av prøvestykker under påføring/herding av epoksy



Figur 24 Foto av prøvestykker (B-halvdeler) lagret forseglet i 10 døgn før eksponering

5.3 Resultater

5.3.1 Trykkfasthet

Betongens trykkfasthet ble bestemt til 79,8 MPa ved 28 døgns alder (middel av 3 terninger).

5.3.2 Kloridinntrenging og filtreringseffekt av produktene

Målt kloridinnhold i freste sjikt (alle paralleller) er vist i Tabell 7-10. Beregnede middelveier for hver serie, både i % av betongvekt og i g/m^2 , samt filtreringseffekt fremgår også av Tabell 7-10.

For å se på spredningen i kloridinntrenging og filtreringseffekt i hver serie, er det også foretatt beregning av totalt inntrengt mengde pr prøvestykke, og filtreringseffekt pr terning (behandlet A-del mot ubehandlet B-del). Disse verdiene er gitt i Tabell 11 og 12. Beregnet standardavvik for filtreringseffekten fremgår også av i Figur 28.

Ved omregning av kloridinnhold fra % til g/m^2 er det antatt en tørrdensitet på 2300 kg/m^3 og en bakgrunnsverdi på 0,02 %. Beregning av filtreringseffekt er utført iht formel gitt i avsnitt 3.4.3.

Kloridprofilene for alle serier er vist i Figur 25-26.

Beregnet inntrengt mengde klorider og filtreringseffekt er fremstilt grafisk i Figur 27 og 28.

Tabell 7 Målt kloridinnhold i ulike sjikt og beregnet midlere inntrengt mengde klorider, samt filtreringseffekt – prøvestykker permanent neddykket i 16,5 % NaCl-løsning

Dybde fra overflata, mm	Kloridinnhold i ulike sjikt									
	Prøvestykker med hydrofoberende impregnering					Referanser				
	% av betongvekt				g/m^2	% av betongvekt				g/m^2
	4A	5A	6A	middel	middel	4B	5B	6B	middel	Middel
1	0,29	0,24	0,33	0,29	12,27	1,1	1,25	1,26	1,20	54,43
3	0,15	0,1	0,12	0,12	4,75	0,75	0,82	0,88	0,82	36,65
5	0,07	0,07	0,04	0,06	1,84	0,49	0,49	0,49	0,49	21,62
7	-	0,04	0,02	0,02	0,00	0,31	0,31	0,28	0,30	12,88
10	-	0,02	0,02	0,01	0,00	0,11	0,14	0,11	0,12	9,20
14	-	-	-	-	-	0,04	0,05	0,04	0,04	2,15
SUM					18,86					136,93
Filtrering	86,2 %									

Tabell 8 Målt kloridinnhold i ulike sjikt og beregnet midlere inntrengt mengde klorider, samt filtreringseffekt – prøvestykker periodisk neddykket i 16,5 % NaCl-løsning

Dybde fra overflata, mm	Kloridinnhold i ulike sjikt									
	Prøvestykker med hydrofoberende impregnering					Referanser				
	% av betongvekt				g/m^2	% av betongvekt				g/m^2
	7A	8A	9A	middel	middel	7B	8B	9B	middel	Middel
1	0,15	0,17	0,13	0,15	5,98	0,56	0,54	0,54	0,55	24,23
3	0,05	0,06	0,06	0,06	1,69	0,36	0,36	0,38	0,37	15,95
5	0,04	-	0,02	0,02	0,00	0,19	0,21	0,24	0,21	8,89
7	0,02	-	-	0,01	0,00	0,09	0,19	0,12	0,13	5,21
10	-	-	-	-	-	0,02	0,04	0,03	0,03	0,92
14	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,02	0,00
SUM					7,67					55,20
Filtrering	86,1 %									

Tabell 9 Målt kloridinnhold i ulike sjikt og beregnet midlere inntrengt mengde klorider, samt filtreringseffekt – prøvestykker periodisk påsprøytet 3 % NaCl-løsning

Dybde fra overflata, mm	Kloridinnhold i ulike sjikt									
	Prøvestykker med hydrofobereende impregnering					Referanser				
	% av betongvekt				g/m ²	% av betongvekt				g/m ²
	10A	11A	12A	middel	middel	10B	11B	12B	middel	Middel
1	0,27	0,33	0,25	0,28	12,11	0,75	0,58	0,62	0,65	28,98
3	0,11	0,17	0,12	0,13	5,21	0,42	0,42	0,47	0,44	19,17
5	0,04	0,06	0,05	0,05	1,38	0,23	0,25	0,28	0,25	10,73
7	-	-	-	-	-	0,12	0,14	0,16	0,14	5,52
10	-	-	-	-	-	0,05	0,06	0,07	0,06	3,68
14	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,01	0,00
SUM					18,70					68,08
Filtrering	72,5 %									

Tabell 10 Målt kloridinnhold i ulike sjikt og beregnet midlere inntrengt mengde klorider, samt filtreringseffekt – prøvestykker permanent neddykket i 3 % NaCl-løsning

Dybde fra overflata, mm	Kloridinnhold i ulike sjikt									
	Prøvestykker med hydrofobereende impregnering					Referanse				
	% av betongvekt				g/m ²	% av betongvekt				g/m ²
	13A	14A	15A	middel	middel	13B	14B	15B	middel	Middel
1	0,14	0,1	0,1	0,11	4,29	0,27	0,31	0,29	0,29	12,42
3	0,09	0,05	0,04	0,06	1,84	0,26	0,26	0,24	0,25	10,73
5	0,03	0,03	0,02	0,03	0,31	0,19	0,18	0,17	0,18	7,36
7	0,03	0,03	0,03	0,03	0,46	0,11	0,1	0,11	0,11	3,99
10	-	0,03	-	0,01	0,00	0,04	0,03	0,02	0,03	0,92
14	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,01	0,00
SUM					6,90					35,42
Filtrering	80,5 %									

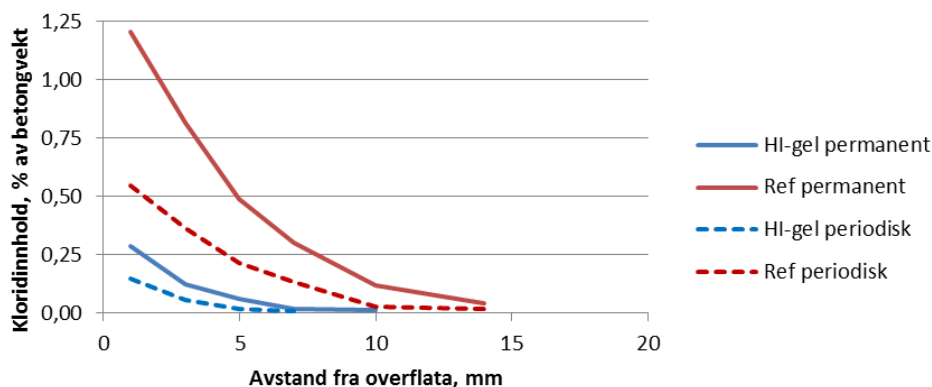
Tabell 11 Beregnet kloridinntrenging i hvert prøvestykke, samt filtreringseffekt for hver terning (A- og B-del), alle eksponeringsmetoder

Eksponeringsmetode	Parameter	Prøvestykker med HI			Ubehandlede referanser		
		4A	5A	6A	4B	5B	6B
Permanent 16,5 %	Prøvestykke	4A	5A	6A	4B	5B	6B
	Inntrengt mengde, g/m ²	20,70	17,02	19,78	128,34	142,14	140,30
	Filtreringseffekt, %	83,9	88,0	85,9	-	-	-
Periodisk 16,5 %	Prøvestykke	7A	8A	9A	7B	8B	9B
	Inntrengt mengde, g/m ²	8,28	8,74	6,90	51,52	58,88	56,12
	Filtreringseffekt, %	83,9	85,2	87,7	-	-	-
Permanent 3 %	Prøvestykke	13A	14A	15A	13B	14B	15B
	Inntrengt mengde, g/m ²	9,20	5,52	5,06	36,34	36,34	33,58
	Filtreringseffekt, %	74,7	84,8	84,9	-	-	-
Periodisk 3 %	Prøvestykke	10A	11A	12A	10B	11B	12B
	Inntrengt mengde, g/m ²	16,56	23,00	16,56	69,00	63,94	72,22
	Filtreringseffekt, %	76,0	64,0	77,1	-	-	-

Tabell 12 Beregnede middelvrdier, standardavvik og variasjonskoeffisient (c_v), for hhv inntrengt mengde klorider og filtreringseffekt, alle eksponeringsmetoder

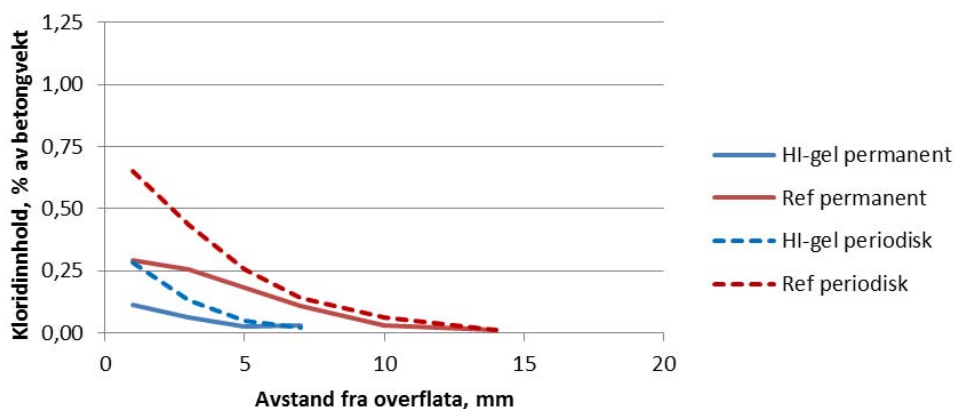
Eksponeringsmetode	Serie	Inntrengt mengde, g/m ²			Filtreringseffekt, %		
		middel	stdav (σ)	varkoeff (c_v)	middel	stdav (σ)	varkoeff (c_v)
Permanent 16,5 %	HI	19,17	1,92	10,0 %	85,9	2,1	2,4 %
	Ref	136,93	7,49	5,5 %			
Periodisk 16,5 %	HI	7,97	0,96	12,1 %	85,6	1,9	2,2 %
	Ref	55,51	3,72	6,7 %			
Permanent 3 %	HI	6,59	2,27	34,5 %	81,5	5,9	7,2 %
	Ref	35,42	1,59	4,5 %			
Periodisk 3 %	HI	18,71	3,72	19,9 %	72,4	7,2	10,1 %
	Ref	68,39	4,17	6,1 %			

Permanent/periodisk 16,5% NaCl

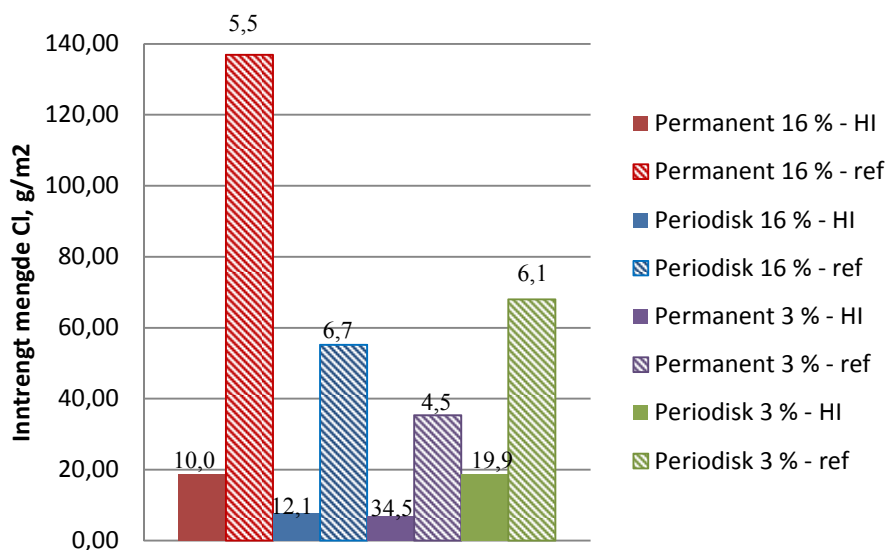


Figur 25 Kloridprofiler fremstilt for prøvestykker permanent eller periodisk neddykket i 16,5 % NaCl-løsning, middelvrdier for 3 paralleler

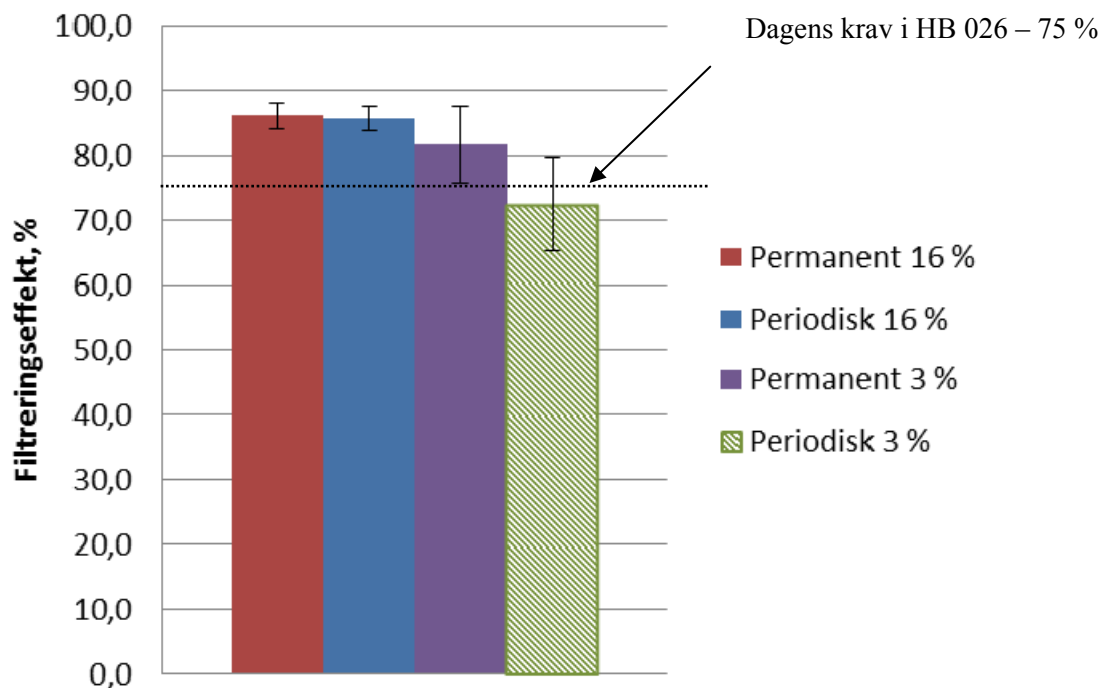
Permanent/periodisk 3 % NaCl



Figur 26 Kloridprofiler fremstilt for prøvestykker permanent neddykket i eller periodisk påsprøytet 3 % NaCl-løsning, middelvrdier for 3 paralleler



Figur 27 Beregnet inntrengt mengde klorider pr serie (middel av 3 paralleller), overflatebehandlet og tilhørende referanse. Variasjonskoeffisientene for hver serie er angitt over stolpene.



Figur 28 Beregnet filtreringseffekt av testproduktet, med standardavvik angitt, avhengig av eksponeringsmetode. Dagens krav i Statens vegvesen ($\geq 75\%$) er indikert i figuren.

5.3.3 *Inntrengingsdybde av hydrofobierende impregnering*

Måling av inntrengingsdybde av hydrofobierende impregnering er første gang utført etter 7 døgns «herding» av produktet, deretter etter følgende oppbevaringer:

- 56 døgn i rom av 50 % RF og 20 °C i 56 døgn
- 56 døgn permanent neddykket i 16,5 % NaCl-løsning
- 56 døgn periodisk neddykket i 16,5 % NaCl-løsning
- 56 døgn periodisk påsprøytet 3 % NaCl-løsning
- 56 døgn permanent neddykket i 3 % saltløsning

Måling av inntrengingsdybde ble utført ved splitting og påføring av vann på bruddflatene. Det var ikke mulig å måle nevneverdig inntrenging.

Ny splitting og måling av inntrengingsdybder ble utført andre gang etter ca 4 måneders lagring i plastposer, 09.11.2012.

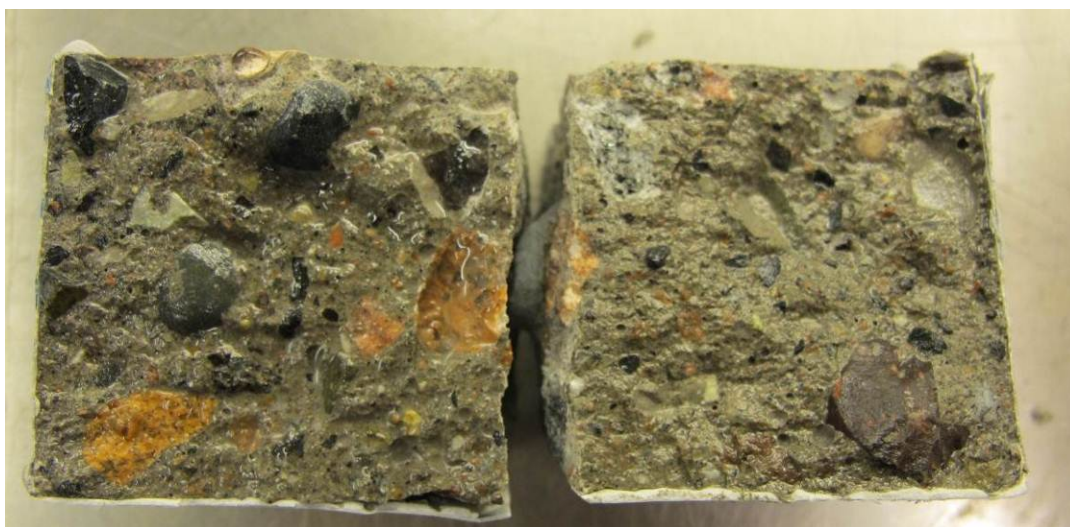
Det ble registrert tendens til inntrenging i noen prøvestykker, men det var fortsatt vanskelig å gjøre systematiske målinger. Foto av bruddflatene etter påføring av vann er vist i Figur 29-34.

Som alternativ til denne typen måling av inntrengingsdybde ble det bestemt å gjøre forsøk med å tilsette vann til «en liten teskje» (ikke oppveid) av betongstøvet som ble frest for gjennomføring av kloridanalyser. Det ble tatt fram støvposer fra følgende prøvestykker:

- 6A: Impregnert prøvestykke eksponert permanent neddykket i 16,5 % NaCl-løsning
- 6B: Ubehandlet referanseprøve eksponert permanent neddykket i 16,5 % NaCl-løsning
- 12A: Impregnert prøvestykke eksponert periodisk påsprøytet med 3 % NaCl-løsning
- 12B: Ubehandlet referanseprøve eksponert periodisk påsprøytet med 3 % NaCl-løsning

Tilsetting av vann til det freste støvet viser at støvet er hydrofobt i varierende dybder: Støv frest fra prøvestykke 6A (permanent 16,5 % NaCl-løsning) er hydrofobt i sjikt 0-2 mm, og avtagende hydrofobt i sjiktene 2-4 mm og 4-6 mm. Støv frest fra prøvestykke 12A (periodisk 3 % NaCl-løsning) er hydrofobt kun i sjikt 0-2 mm. Støv fra ubehandlede referanser (6B og 12B) viser at ikke-impregnert støv bunnfeller umiddelbart ved tilsetting av vann.

Foto av de freste sjikt som ble tilsatt vann finnes i Figur 35-37.



Figur 29 Bruddflater påført vann umiddelbart etter splitting, prøvestykke 16A- oppbevart i luft av 50 % RF og 20 °C i 7 døgn, deretter i luft/plastpose i 4 mnd



Figur 30 Bruddflater påført vann umiddelbart etter splitting, prøvestykke 16B- oppbevart i luft av 50 % RF og 20 °C i 56 døgn, deretter i luft/plastpose i 4 mnd



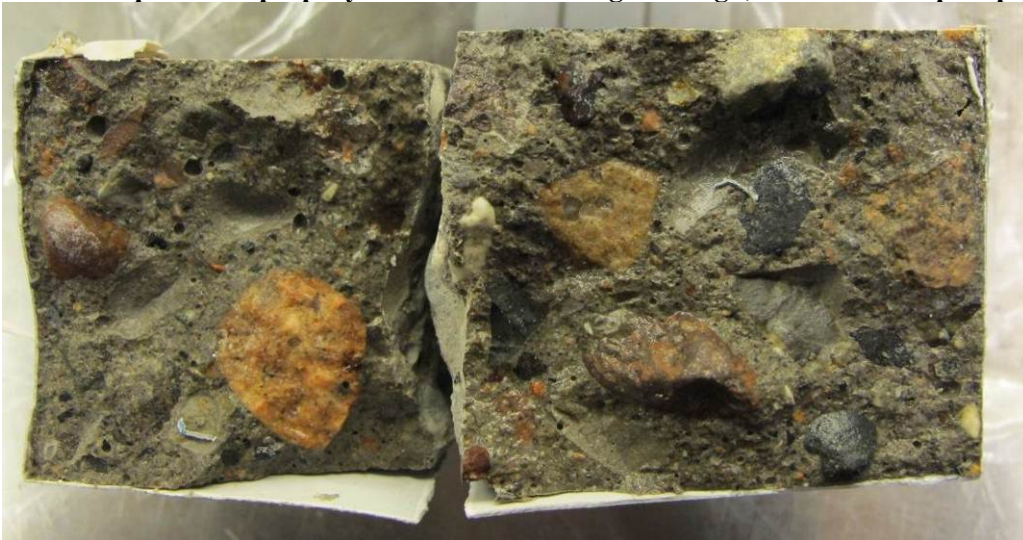
Figur 31 Bruddflater påført vann umiddelbart etter splitting, prøvestykke 17A - oppbevart permanent neddykket i 16,5 % NaCl-løsning i 56 døgn, deretter i luft/plastpose i 4 mnd



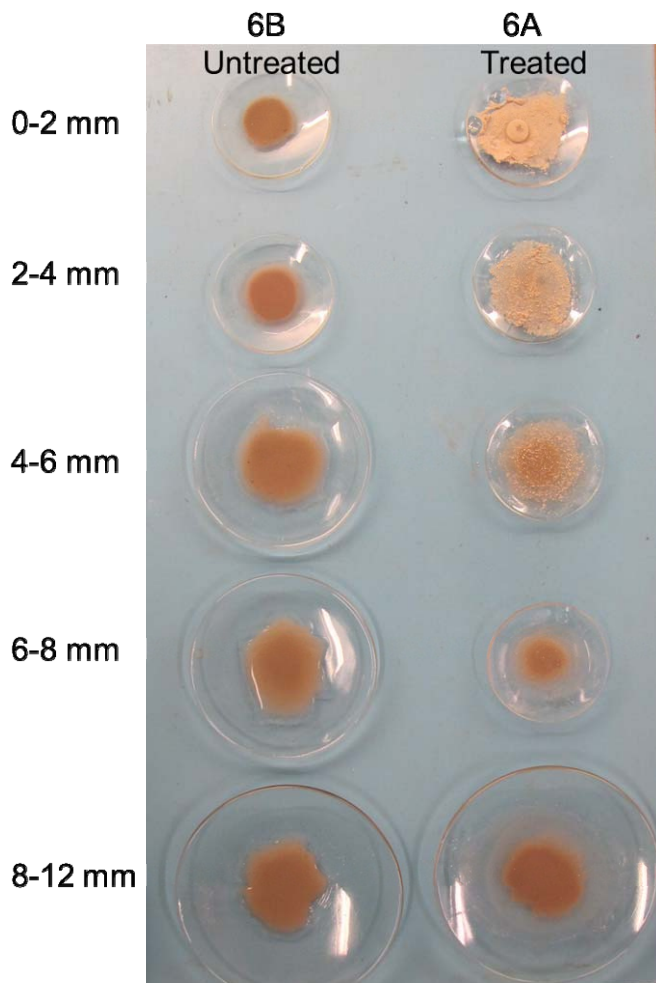
Figur 32 Bruddflater påført vann umiddelbart etter splitting, prøvestykke 17B - oppbevart periodisk neddykket i 16,5 % NaCl-løsning i 56 døgn, deretter i luft/plastpose i 4 mnd



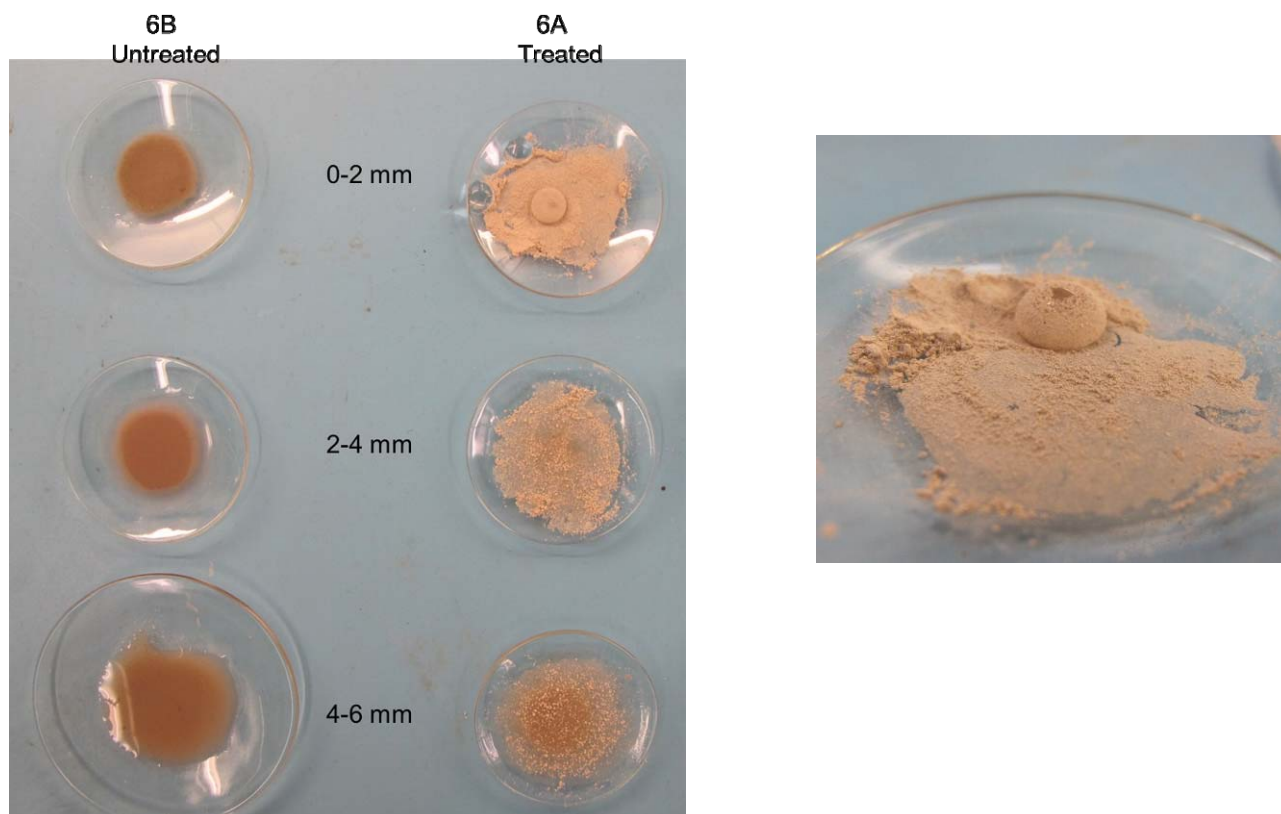
Figur 33 Bruddflater påført vann umiddelbart etter splitting, prøvestykke 18A - oppbevart periodisk påsprøytet 3 % NaCl-løsning i 56 døgn, deretter i luft/plastpose i 4 mnd



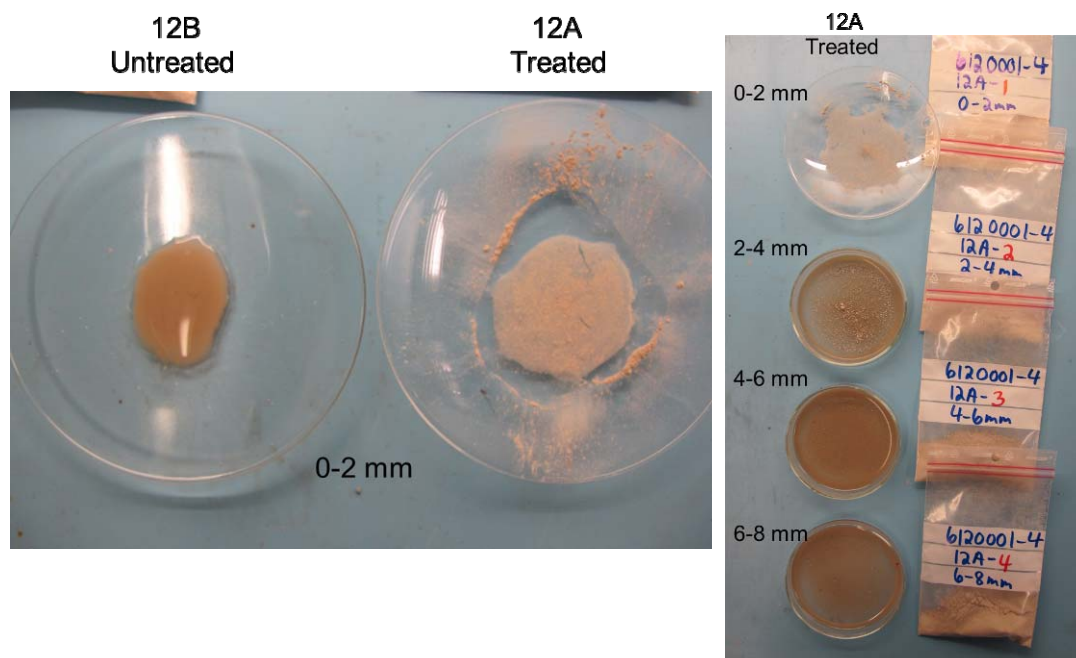
Figur 34 Bruddflater påført vann umiddelbart etter splitting, prøvestykke 18B - oppbevart permanent neddykket i 3 % NaCl-løsning i 56 døgn, deretter i luft/plastpose i 4 mnd



Figur 35 Frest støv fra prøvestykke 6B (referanse) og 6A (impregnert), sjiktene 0-2 mm, 2-4 mm, 4-6 mm, 6-8 mm og 8-12 mm. Prøvestykkene har vært eksponert permanent neddykket 16,5 % NaCl-løsning i 56 døgn. Støvet er opprinnelig frest for kloridanalyser, men er her er reststøv tilsatt vann for å se om støvet er hydrofobt.



Figur 36 Frest støv fra prøvestykke 6B (referanse) og 6A (impregnert), sjiktene 0-2 mm, 2-4 mm og 4-6 mm, tilsatt vann. Prøvestykkene har vært eksponert permanent neddykket 16,5 % NaCl-løsning i 56 døgn. Til høyre nærbilde av sjikt 0-2 mm, merk den støvbelagte vandrdåpen.



Figur 37 Til venstre: Frest støv fra prøvestykke 12B (referanse) og 12A (impregnert), sjikt 0-2 mm, tilsatt vann. Prøvestykkene har vært periodisk påsprøytet 3 % NaCl-løsning i 56 døgn. Til høyre: Frest støv fra prøvestykke 12A (impregnert), sjiktene 0-2 mm, 2-4 mm, 4-6 mm og 6-8 mm, tilsatt vann.

5.4 Evaluering

Den gjennomførte prøvingen har dokumentert følgende:

- Inntrengingen av den valgte hydrofoberende impregneringen er ikke mulig å påvise ved splitting og påføring av vann på bruddflatene. Tilsetting av vann til det freste støvet viser imidlertid at støvet er hydrofobt i varierende dybder.
- Permanent neddykking i 16,5 % NaCl-løsning er den metoden som akselererer kloridinntrengingen desidert mest. Inntrengt mengde klorider i ubehandlede prøvestykker eksponert iht denne metoden er omtrent dobbelt så stor som i ubehandlede prøvestykker eksponert i kloridpåsprøytingskammeret (syklisk påsprøyting med 3 % NaCl-løsning).
- Syklisk eksponering i 3 % NaCl-løsning akselererer inntrengingen i forhold til permanent neddykking i 3 % NaCl-løsning. Syklisk eksponering i 16,5 % NaCl-løsning akselererer imidlertid ikke tilsvarende i forhold til permanent neddykking i 16,5 % NaCl-løsning. Inntrengt mengde klorider i ubehandlede prøvestykker syklisk eksponert i 3 % NaCl-løsning er sågar noe høyere enn inntrengt kloridmengde i ubehandlede prøvestykker syklisk eksponert i 16,5 % NaCl-løsning. Det antas at dette blant annet kan skyldes hardere tørkeperioder i kloridpåsprøytingskammeret, hvor det er vifter som blåser kraftig i tørkeperiodene.
- Den hydrofobereende impregneringens filtreringseffekt er 86 % for begge 16,5 % - metodene, 81 % ved permanent neddykket i 3 % NaCl og kun 73 % (under SVVs grenseverdi) ved eksponering i kloridpåsprøytingskammeret. Inntrengt mengde klorider er like stor i behandlede prøvestykker eksponert i kloridpåsprøytingskammeret som i behandlede prøvestykker eksponert permanent neddykket i 16,5 % NaCl-løsning. Det er usikkert om hva forskjellene skyldes, f eks eksponeringsbetingelsene, initiell inntrengingsdybde av impregneringen eller annet.
- Beregnede variasjonskoeffisienter viser at spredningen i kloridinntrenging i referanseseriene er relativt liten (fra 4,6 % til 6,7 %) uansett eksponeringsmetode. Variasjonskoeffisientene er dog marginalt lavere for permanent neddykkede prøver i forhold til periodisk eksponerte. Spredningen i kloridinntrenging i de impregnerte prøvestykkene er generelt høyere enn i referansene, og varierer i større grad mellom eksponeringsmetodene. Variasjonskoeffisientene for impregnerte serier viser minst spredning ved eksponering i høy kloridkonsentrasjon (hhv 10,0 % og 12,1 % for permanent og periodisk eksponering) og stor spredning ved eksponering i lav kloridkonsentrasjon (hhv 34,5 % og 19,9 % for permanent og periodisk eksponering).
- Spredningen i filtreringseffekt er lav ved eksponering i høy kloridkonsentrasjon (σ lik hhv 2,1 og 1,9 % for permanent og periodisk) og høyere ved eksponering i lav kloridkonsentrasjon (σ lik 5,9 % og 7,2 % for permanent og periodisk eksponering)

6 PRØVING AV INNTRENGINGSDYBDE IHT NS-EN 1504-2

6.1 Bakgrunn

Dette avsnittet omhandler resultater fra prøving av inntrengingsdybde iht NS-EN 1504-2. Prøvingen ble utført hos SINTEF Byggforsk, som del av et større prøvingsprogram (se avsnitt 3.1).

6.2 Prøvingsprosedyre og resultater – 1. gangs prøving

Prøving av inntrengingsdybde ble utført iht Tabell 3 i NS-EN 1504-2, på betongkvalitet C(0,70), men også på betongkvalitet C(0,45). De samme fire produktene som omtalt i kapittel 3 ble testet.

Resultatene er rapportert i SINTEF prøvingsrapport 3D0768-1 /8/.

Det ble støpt ut terninger i betongkvalitet hhv C(0,45) og C(0,7) iht NS-EN 1766, se VEDLEGG 5. Det ble ikke benyttet slippolje i formene. Støping ble utført 22.07.2009. Terningene ble vannlagret fram til 28 døgns alder (19.08.2009), se Tabell 13.

Etter vannlagring ble terningene lagret i luft av 21 ± 2 °C og 60 ± 10 % RF fram til påføring av produktene (8-9 døgn, se Tabell 13). Produktene er påført overflate med støpehud.

Produktene ble påført iht prosedyre gitt i NS-EN 13579 ved dypping i produktet i 120 s. Påført mengde produkt er bestemt ved veiing av prøvestykket før og etter dypping. Produktet er påført én side pr terning, totalt tre terninger pr produkt. Middelerdien for påført mengde (3 prøvestykker) er gitt i Tabell 14.

Etter 6-7 døgns «herding» (inntrenging/polymerisering) av produktene ble prøvestykkene splittet i to og vann påført bruddflatene. Målte inntrengingsdybder er gitt i Tabell 14. Maksimum målte verdier er fremstilt grafisk i Figur 38.

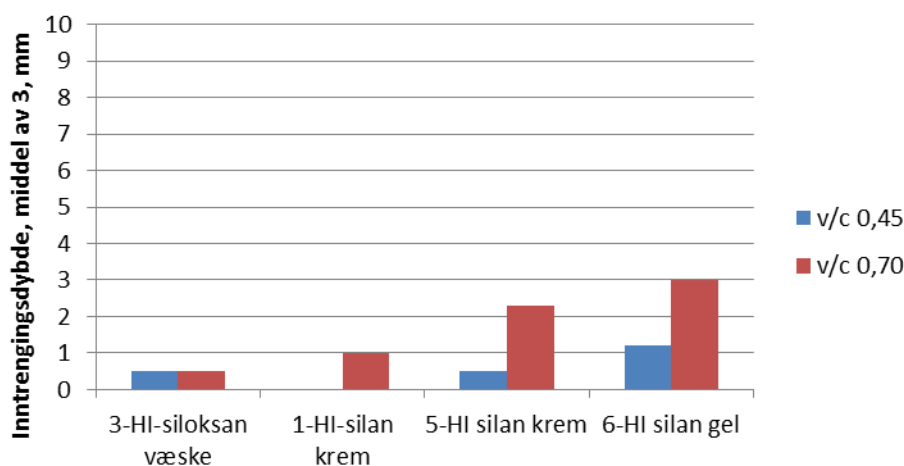
Tabell 13 Datoer for når de ulike produkter er påført prøvestykkene og når inntrengingsdybde er målt. Alder på betongterninger på ulike tidspunkt framgår også av tabellen.

Produkt	Terninger støpt	Terninger opp av vann	Produkt påført		Inntrenging målt	
			C(0,70)	C(0,45)	C(0,70)	C(0,45)
1-HI-silan krem	22.07.2009 (0 dg)	19.08.2009 (28 dg)	27.08.2009 (36 dg)	28.08.2009 (37 dg)	03.09.2009 (43 dg)	
3-HI-siloksan væske				27.08.2009 (36 dg)	03.09.2009 (43 dg)	
5-HI-silan krem						
6-HI-silan gel						

Tabell 14 Påført mengde produkt, bestemt ved veiing av prøvestykket før og etter dypping i produktet, samt målte inntrengingsdybder maksverdier pr serie á 3 prøvestykker

Produkt	Påført mengde produkt, g/m ²		Målt inntrengingsdybde, mm	
	C(0,70)	C(0,45)	C(0,70)	C(0,45)
1-HI-silan krem	76	120	≤ 1	0
3-HI-siloksan væske	61	16	< 0,5	< 0,5
5-HI-silan krem	60	69	≤ 2,5	< 0,5
6-HI-silan gel	106	45	≤ 3	≤ 1,5

Iht 1504-2, 6-7 dg e påføring (hud)



Figur 38 Maksimum målte inntrengingsdybder for ulike produkter i hhv C(0,45) og C(0,70), 6-7 dogn etter påføring

6.3 Prøvningsprosedyre og resultater – 2. gangs prøving

På grunn av de dårlige resultatene fra 1. gangs prøving av inntrengingsdybde, og usikkerhetene knyttet til påført mengde hydrofoberende impregnering (langt under leverandørens anbefalinger), ble det besluttet å gjøre en ny prøving for to av produktene, hhv 5-HI-silan krem og 6-HI-silan gel. Resultatene er rapportert i SINTEF-notat 3D9000.07 /9/.

Prøvingen ble utført på de samme to betongene som beskrevet i avsnitt 6.2. Terningene var støpt i juli 2009, vannlagret til 28 døgns alder, deretter lagret i laboratorieluft i 6 måneder, se Tabell 15.

Før påføring av produktene ble de lagret i 6 uker i vann, deretter 1 uke i luft (20 °C og 60 % RF), se Tabell 15.

Produktene ble påført med pensel på én av flatene på 2 stk terninger av hver betongkvalitet (C(0,45) og C(0,70)), med mengder som beskrevet i Tabell 16. Prøvestykkene sto lagret med eksponeringsflata i horisontal posisjon i «herdetiden». Foto av de behandlede flatene etter 7 døgns «herding» er vist i Figur 40 og 41. Foto av de behandlede flatene etter 28 døgns «herding» er vist i Figur 42 og 43.

Etter hhv 7 og 28 døgns «herding» av produktene ble prøvestykkene splittet og bruddflatene påført vann. Målte inntrengingsdybder er presentert i Tabell 17 og fremstilt grafisk i Figur 39.

Foto av bruddflater etter påføring av vann er vist i Figur 44-47.

Tabell 15 Datoer for når produktene er påført prøvestykkene og inntrengingsdybde er målt. Alder på betongterninger på ulike tidspunkt framgår også av tabellen.

Terninger støpt	Terninger opp av vann	Terninger ned i vann	Terninger opp av vann	Produkt påført	Inntrenging målt	
					7 dogn	28 dogn
22.07.2009 (0 dg)	19.08.2009 (28 dg)	26.02.2010 (219 dg)	06.04.2010 (258 dg)	13.04.2010 (265 dg)	20.04.2010	11.05.2010

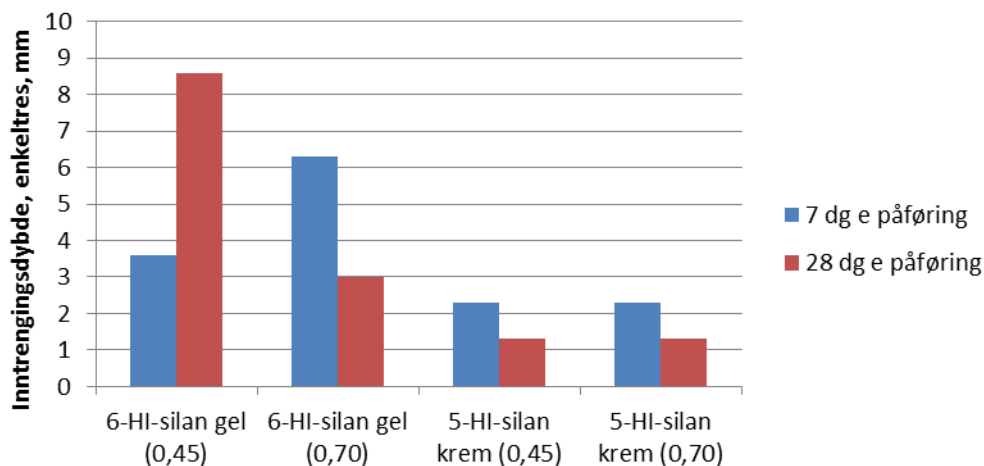
Tabell 16 Påført mengde produkt, oppveid mengde påført med pensel

Produkt	Terning nr		Påført mengde produkt, g/m ²	
	C(0,70)	C(0,45)	C(0,70)	C(0,45)
5-HI-silan krem	39	139	340	320
	40	140	360	310
6-HI-silan gel	37	137	800	800
	38	138	790	800

Tabell 17 Målte inntrengingsdybder, middelværdier pr prøvestykke og betongkvalitet

Produkt	Betongkvalitet	Terning nr	«Herdetid» av produkt	Målt inntrengingsdybde, mm	
				Pr prøvestykke	Middel pr betongkvalitet
5-HI-silan krem	C(0,45)	39	7 dg	2,3	1,8
		40	28 dg	1,3	
	C(0,70)	139	7 dg	2,3	1,8
		140	28 dg	1,3	
6-HI-silan gel	C(0,45)	37	7 dg	3,6	6,1
		38	28 dg	8,6	
	C(0,70)	137	7 dg	6,3	4,7
		138	28 dg	3,0	

2.gangs prøving iht mod. 1504-2 (hud)



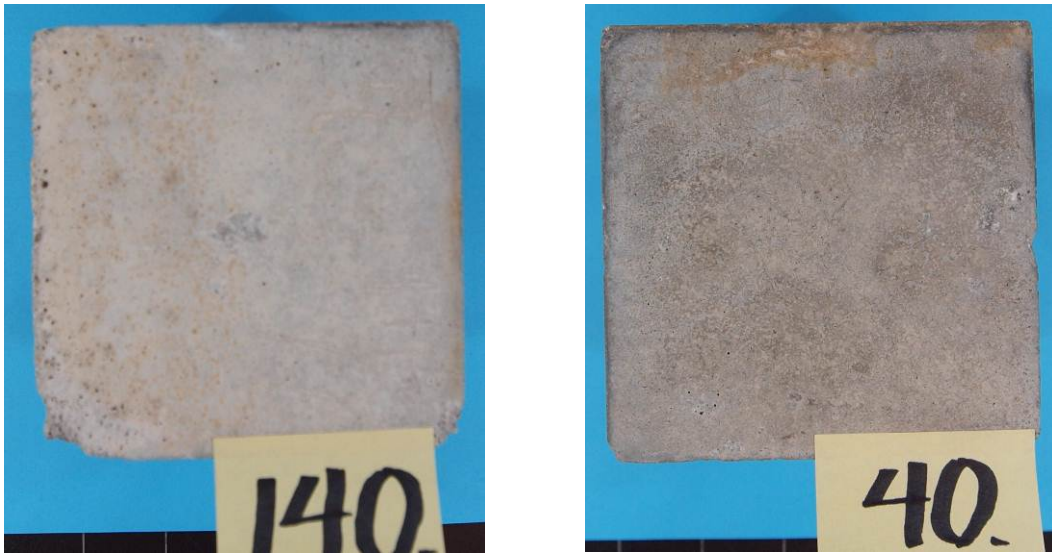
Figur 39 Målte inntrengingsdybder av produktene 5-HI-silan krem og 6-HI-silan gel i betongkvalitet C(0,45) og C(0,70), hhv 7 og 28 døgn etter påføring



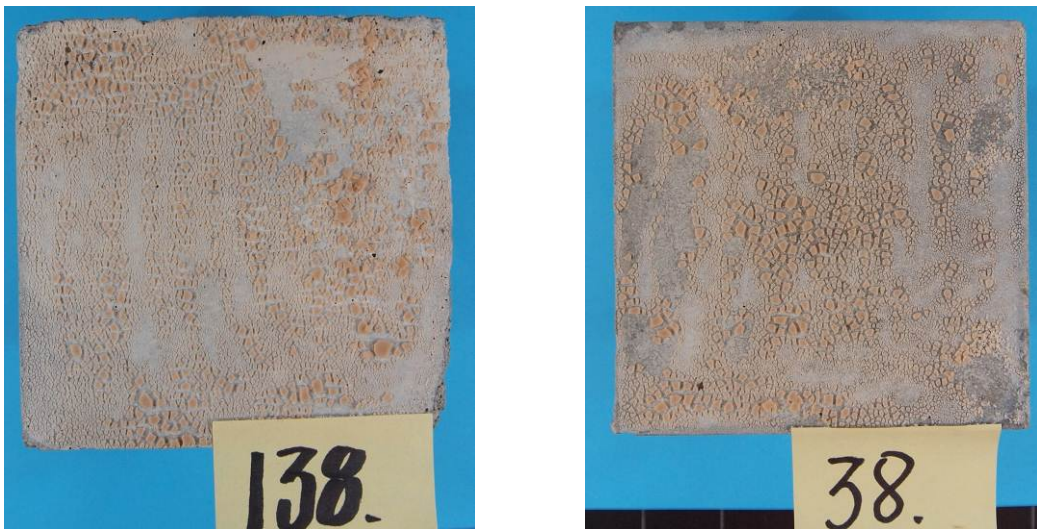
Figur 40 Prøvestykker påført 5-HI-silan krem, C(0,70) til venstre, C(0,45) til høyre, 7 døgn etter påføring (2. gangs prøving)



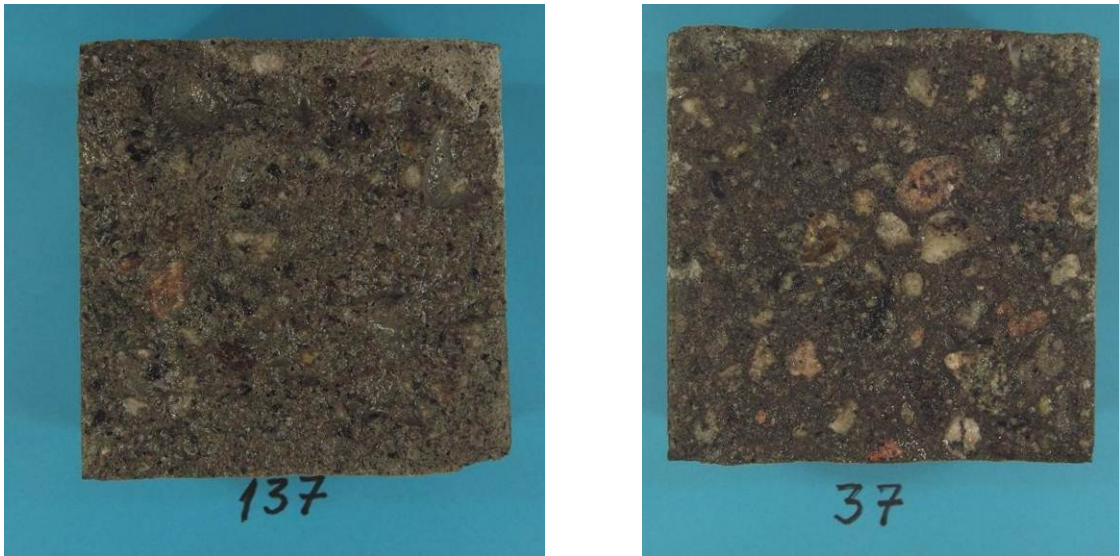
Figur 41 Prøvestykker påført 6-HI-silan gel, C(0,70) til venstre, C(0,45) til høyre, 7 døgn etter påføring (2. gangs prøving)



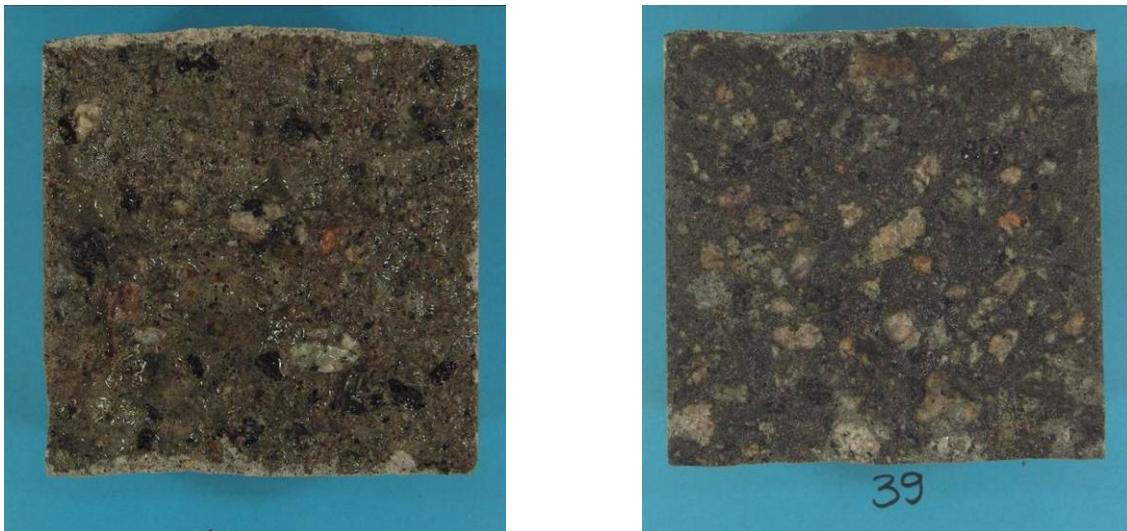
Figur 42 Prøvestykker påført 5-HI-silan krem, C(0,70) til venstre, C(0,45) til høyre, 28 døgn etter påføring. (2. gangs prøving) Foto: SINTEF



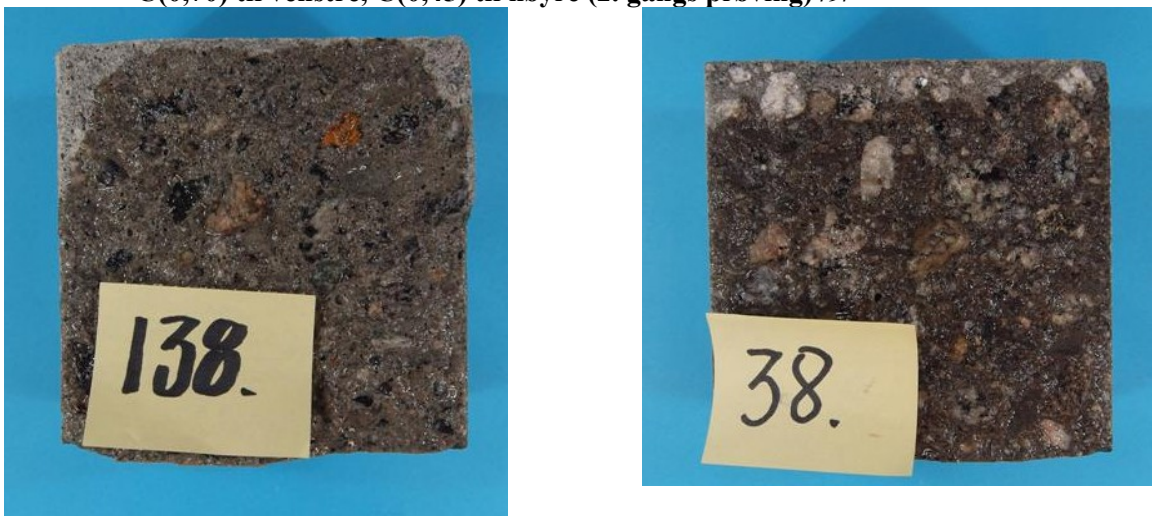
Figur 43 Prøvestykker påført 6-HI-silan gel, C(0,70) til venstre, C(0,45) til høyre, 28 døgn etter påføring. (2. gangs prøving) Foto: SINTEF



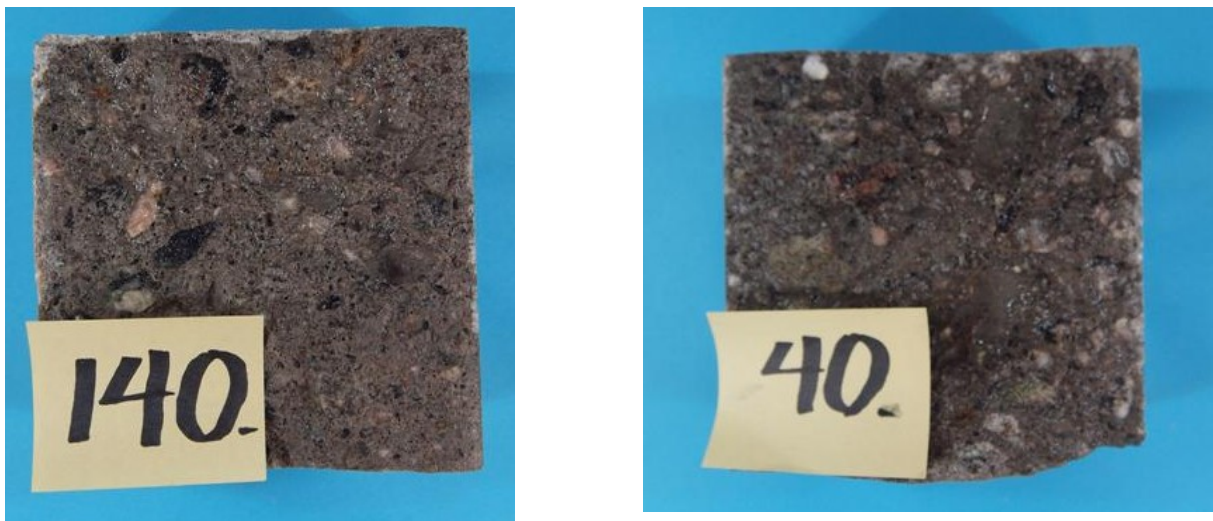
Figur 44 Bruddflate påført vann, inntrengingsdybde av 6-HI-silan gel, 7 døgn etter påføring, C(0,70) til venstre, C(0,45) til høyre (2. gangs prøving) /9/



Figur 45 Bruddflate påført vann, inntrengingsdybde av 5-HI-silan krem, 7 døgn etter påføring, C(0,70) til venstre, C(0,45) til høyre (2. gangs prøving) /9/



Figur 46 Bruddflate påført vann, inntrengingsdybde av 6-HI-silan gel, 28 døgn etter påføring, C(0,70) til venstre, C(0,45) til høyre (2. gangs prøving) /9/



Figur 47 Bruddflate påført vann, inntrengingsdybde av 5-HI-silan krem, 28 døgn etter påføring, C(0,70) til venstre, C(0,45) til høyre (2. gangs prøving) /9/

6.4 Evaluering

Første gangs prøving av inntrengingsdybde, iht NS-EN 1504-2, er utført på fire produkter (1-HI-silan krem, 3-HI-siloksan-væske, 5-HI-silan krem og 6-HI-silan gel). Prøvingen ga svært beskjedne inntrengingsdybder. Pga usikkerheter knyttet til påført mengde hydrofoberende impregnering, tillegges ikke disse resultatene vekt.

Andre gangs prøving av inntrengingsdybde er utført for to produkter (5-HI-silan krem og 6-HI-silan gel) iht modifisert prosedyre:

- Betongterningenes alder var ca 8 mnd ved påføring av produktene, herav lagret 6 mnd i luft (mulig karbonatisering)
- Produktet ble påført med pensel på én av terningens sideflater, med nøyaktig mengde iht leverandørens anvisning
- Måling av inntrengingsdybde er utført hhv 7 og 28 døgn etter påføring av produktene
- Det er kun ett prøvestykke pr variant, ingen parallelle prøver

Andre gangs prøving har vist følgende:

- Den gelbaserte impregneringen har større inntrenging enn den krembaserte i begge betonger (C(0,70) og C(0,45)) og ved begge «herdetider» (7 og 28 døgn)
- Den krembaserte silanimpregneringen har marginalt større inntrenging etter 7 dg enn etter 28 døgn
- For den gelbaserte impregneringen er inntrengingsdybden større i C(0,70)-betongen enn i C(0,45)-betongen etter 7 døgn. Etter 28 døgn er imidlertid inntrengingsdybden større i C(0,45)-betongen
- Den gelbaserte impregneringen er fortsatt klebrig på overflata etter 7 døgn, spesielt på C(0,45)-betongen. Etter 28 døgn er impregneringen tydelig trukket inn/tørket.

Det er ikke funnet entydige sammenhenger mellom inntrengingsdybde og betongens v/c-tall, heller ikke mellom inntrengingsdybde og impregneringenes «herdetid». Pga begrenset prøvemateriale er det ikke mulig å se på spredning av resultater.

7 KLORIDPÅSPRØYTINGSKAMMERET – EFFEKT AV ENDRET PROSEDYRE

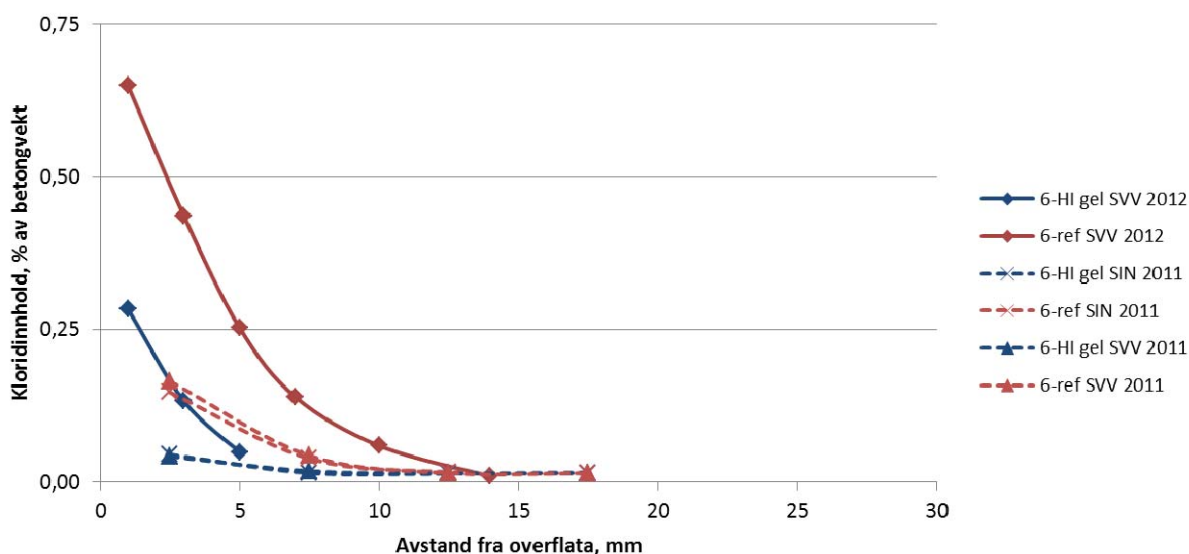
Prøving i kloridpåsprøytingskammeret omtalt i kapittel 5 er utført med flere avvik i forhold til standard prosedyre (f eks prøving omtalt i kapittel 3). Forskjeller i prosedyrene fremgår av Tabell 18.

Tabell 18 Avvik i prosedyren ved prøving iht modifisert metode (kapittel 5) i forhold til standard norsk metode (kapittel 3)

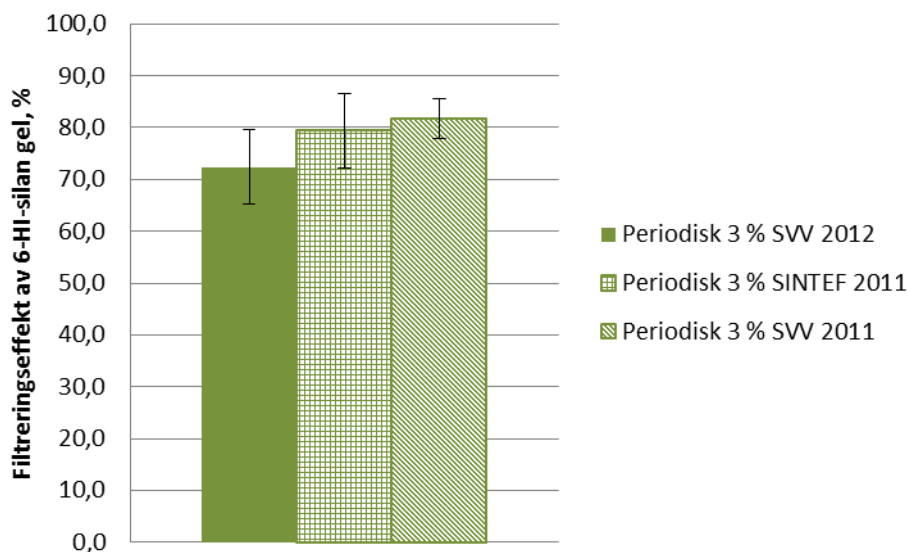
	Norsk metode (kap. 3)	Norsk metode, modifisert (kap. 5)
Betongens alder	Ca 10 mnd, lagret i vann	28 døgn, lagret i vann
Prekondisjonering av prøvestykker før påføring av impregnering	I mettet Ca(OH) ₂ -løsning i minimum 3 døgn, deretter 60 min i 50 % RF	3 døgn i luft av 20±2 °C og 50±5 % RF etter saging (ingen vannmetning)
«Herdetid» for impregnering før eksponering	2 døgn i luft av 20±2 °C og 50±5 % RF (+ 1 døgn i plast)	7 døgn i luft av 20±2 °C og 50±5 % RF
Kondisjonering av ubehandlede referanser før eksponering	Kontinuerlig i mettet Ca(OH) ₂ -løsning (minimum 5 døgn)	10 døgn med eksponeringsflaten forseglet med plast, etter saging (ingen vannmetning)
Eksponeringsperiode	42 døgn	56 døgn

Endringene i prosedyren har medført større inntrenging av klorider i forhold til standard prosedyre. Kloridinntrenging i alle ubehandlede referanseprøver fra prøving omtalt i kapittel 3 er sammenstilt med kloridinntrengingen i referanseprøvene

3 % påsprøyting - normal (2011) og mod. (2012) prosedyre



Figur 48 Kloridprofiler for prøvestykker påført hydrofobierende impregnering i gelform (6-HI-silan gel) og tilhørende referanser, prøvd i kloridpåsprøytingskammeret ved standard (2011) og modifisert (2012) prosedyre, se Tabell 16.



Figur 49 Filtreringseffekt av hydrofobierende impregnering i gelform (6-HI-silan gel) ved prøving iht standard prosedyre (SINTEF 2011 og SVV 2011) og modifisert prosedyre (SVV 2012), se Tabell 16, middelerdi av tre prøvestykker. Spredning internt i hver serie er indikert ved angivelse av standardavviket.

Det er ingen tvil om at den modifiserte prosedyren medfører en kraftigere akselerering, jfr referanseprofilene i Figur 48. Inntrengt mengde klorider i de ubehandlede prøvene 6-ref SIN 2011 og 6-ref SVV 2011 er hhv 18 og 20 g/m² (Tabell 2), mens inntrengt mengde i 6-ref SVV 2012 er 68 g/m² (Tabell 9). Økt kloridinntrenging i ubehandlede prøvestykker eksponert iht modifisert prosedyre skyldes antagelig en kombinasjon av forskjellige forhold beskrevet i Tabell 16, men økt eksponeringstid til 56 døgn spiller nok størst rolle. Det kan heller ikke utelukkes at det er forskjeller i betongenes kloridmotstand som følge av ulike delmaterialer (sement og tilslag) og alder ved prøving. Ett og samme produkt, prøvd iht to prosedyrer og i to forskjellige påsprøytingskammer, oppnår filtreringseffekter som vist i Figur 49. Prøvd iht standard prosedyre (SINTEF 2011 og SVV 2011) tilfredsstiller produktet Statens vegvesens krav på $\geq 75\%$, prøvd iht modifisert prosedyre (SVV 2012) er filtreringseffekten 72 %, marginalt under grenseverdien.

8 OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER

Hovedresultatene fra de gjennomførte laboratorieforsøkene kan oppsummeres som følger:

- Eksponering i kloridpåsprøytingskammer (syklisk påsprøyting med 3 % NaCl-løsning) iht eksisterende Statens vegvesens dokumentasjonsordning gir relativt liten kloridinntrenging i ubehandlede referanseprøver. Ettersom overflateproduktenes kloridbremsende egenskaper vurderes relativt til kloridinntrengingen i ubehandlet betong (filtreringseffekt) vil selv relativt små forskjeller i inntrenging i de ubehandlede referansene kunne få stor betydning for vurdering av produktene (filtreringseffekten), dvs om produktet tilfredsstiller kravene eller ikke. Dersom metoden skal beholdes er det nødvendig å endre prosedyrene slik at klorideksponeringen akselereres, f eks ved å øke eksponeringstiden eller øke kloridkonsentrasjonen.
- For prøvestykker med sagnet eksponeringsflate er det observert en tilnærmet lineær sammenheng mellom tørketid (fra vannmettet tilstand) og inntrengingsdybde av hydrofobierende impregnering

(gel) først etter 3 døgn. Det er ønskelig at hydrofobere impregnerings kloridbremsende egenskaper skal testes på prøvestykker som er prekonisjonert til en tilstand som muliggjør en viss inntrenging av produktet. Resultatene indikerer at vannlagrede prøvestykker med sagflate i så fall bør ligge minimum 3 døgn til tork i luft av 20 ± 2 °C og 50 ± 5 % RF før påføring av hydrofobere impregnering. Gjennomsnittlig kapillær vannmetningsgrad i de ytre 17 mm av den undersøkte betongen var 91 % etter 3 døgn, deretter avtagende til 88 % etter 7 døgn og 84 % etter 14 døgn.

- Påføring av hydrofobere impregneringer på overflater med støpehud ligger nærmere de realistiske feltforholdene enn påføring på sagflater. Målinger av fukttap fra prøvestykker med støpehud viser imidlertid stor spredning i resultatene. Resultatene indikerer at kvaliteten/tettheten av yttersjiktet er svært variabel, og at støpehuden dermed er mindre egnet som underlag for egenskapstesting av overflateprodukter.
- Parallell prøving ved permanent/syklisk eksponering i hhv 3 % og 16,5 % NaCl-løsning viser at permanent neddykking i 16,5 % NaCl-løsning (modifisert svensk/finsk metode) og syklisk påsprøyting med 3 % NaCl-løsning (modifisert norsk metode) er de metodene som gir størst kloridinntrenging i ubehandlet referansebetong. Av disse to gir førstnevnte metode dobbelt så stor inntrenging som sistnevnte (hhv 137 g/m^2 og 68 g/m^2). Periodisk neddykking i 16,5 % NaCl-løsning har ikke gitt økt kloridinntrenging i forhold til permanent neddykking i samme løsning. Permanent neddykking i 3 % NaCl-løsning har heller ikke gitt økt kloridinntrenging i forhold til periodisk påsprøyting. Metoden med syklisk påsprøyting av 3 % NaCl-løsning er ved denne prøvingen modifisert i forhold til Statens vegvesens dokumentasjonsordning - ved at tørketid før påføring av hydrofobere impregnering er økt fra 1 til 3 døgn (og uten forutgående vannlagring), «herdetid» før eksponering er økt fra 2 til 7 døgn og eksponeringstiden er økt fra 42 til 56 døgn. Det er oppnådd betydelig større kloridinntrenging i ubehandlet betong ved denne prøvingen sammenlignet med omtalt prøving iht standard prosedyre (fra ca 20 til 68 g/m^2). Økningen antas i stor grad å skyldes endringer i prosedyren, spesielt økt eksponeringstid, men forskjeller i betongsammensetning og betongalder ved prøving kan også ha bidratt. Inntrengt mengde klorider er like stor i impregnerte prøvestykker eksponert i kloridpåsprøytingskammeret (syklisk sprøyting av 3 % NaCl-løsning) som i impregnerte prøvestykker eksponert permanent neddykket i 16,5 % NaCl-løsning. Dette tilsier at filtreringseffekten er mye høyere for prøver neddykket i 16,5 % i forhold til prøver påsprøytet 3 % løsning (hhv 86 % og 73 %). Det er relativt liten spredning i kloridinntrenging i de ubehandlede prøvestykkene, for alle eksponeringsmetoder (c_v 4,5-6,7 %). Det er større spredning i kloridinntrengingen i de impregnerte prøvestykkene (c_v 10,0-34,5 %), spesielt for serier eksponert i lav kloridkonsentrasjon (c_v 19,9-34,5 %). Resultatene indikerer videre at eksponering i lav kloridkonsentrasjon gir større spredning i filtreringseffekt enn eksponering i høy konsentrasjon. Større spredning i kloridinntrenging i impregnerte prøvestykker i forhold til ubehandlede referanser kan skyldes flere forhold relatert til påføring og «herding» av produktet, eventuelt også produkttegenskapene.
- Prøving av inntrengingsdybde av hydrofobere impregnering (krem og gel) på terninger med støpehud har vist liten sammenheng mellom betongkvalitet (v/c hhv 0,45 og 0,70) og inntrengingsdybde, samt mellom «herdetid» og inntrengingsdybde. Prøvingen ble utført på enkeltprøver og mangelen på parallelle prøvestykker gjør det umulig å si noe om spredning. Det er ikke usannsynlig at variasjoner i kvalitet på støpehud kan være medvirkende til disse uventede resultater. Andre gangs prøving ble utført på 8 mnd gamle terninger, som over en periode på 6 mnd hadde vært lagret i laboratorieluft. Dette kan ha gitt karbonatisering av yttersjiktet som igjen kan ha forsterket eventuelle variasjoner i overflatekvalitet.
- Det er generelt vanskelig å måle inntrengingsdybder av hydrofobere impregnering ved bruk av tradisjonell metode med splitting og påføring av vann på bruddflatene. Forsøk med alternativ prøving med tilsetning av vann til frest støv (opprinnelig tildannet for kloridanalyser) viser at det kan påvises hydrofobere effekt i yttersjiktene i prøver det ikke er mulig å måle inntrengingsdybde ved tradisjonell metode. Inntrengingsdybden av hydrofobere

impregneringer er en sentral faktor for langtidseffekten av produktene og det er et stort behov for pålitelige prosedyrer for å måle denne.

9 VIDERE ARBEID

Det videre arbeidet med revisjon av klorideksponeringsmetode for hydrofoberende impregneringer vil foregå innenfor det nordiske samarbeidsprosjektet etablert mellom Trafikverket Sverige, Trafikverket Finland og Statens vegvesen. Målet er å enes om en felles nordisk metode.

Resultatene fra utført prøving med alternative eksponeringsmetoder underbygger at permanent neddykking i løsning med sterkt akselerert kloridinnhold kan være en egnet metode for prøving av hydrofoberende impregneringers kloridmotstand. Både det svenske og finske Trafikverket ønsker å beholde den eksponeringsmetoden de pr dato har i sine prosedyrer, dvs permanent neddykking i 15 % NaCl-løsning. Slik eksponering har en klar fordel ved at det er en entydig definert metode med liten intern spredning og relativt stor kloridinntrenging i ubehandlet betong – i forhold til kloridpåsprøytingskammeret som har utfordringer knyttet til liten akselerering av kloridpåkjenningen og stedvis stor spredning i kloridinntrenging og filtreringseffekt. Det er naturlig at det videre arbeidet tar utgangspunkt i eksponering ved neddykking, med kloridpåsprøytingskammeret som en referansemetode, og det må samtidig ses nærmere på korrelasjon mellom produktenes oppførsel under laboratorieprøving i forhold til virkelig oppførsel i felt.

Resultatene viser videre at spredning i kvalitet/egenskaper på støpehud er stor, hvilket indikerer at prøving av overflateprodukter bør utføres på underlag tildannet ved saging.

Det er behov for ytterligere studier av hvordan ulike kondisjoneringsregimer før/etter påføring av overflateprodukt påvirker 1) inntrengingsdybden av de hydrofoberende impregneringene og 2) den kloridbremsende effekten av produktene. Videre studier må inkludere flere impregneringsprodukter.

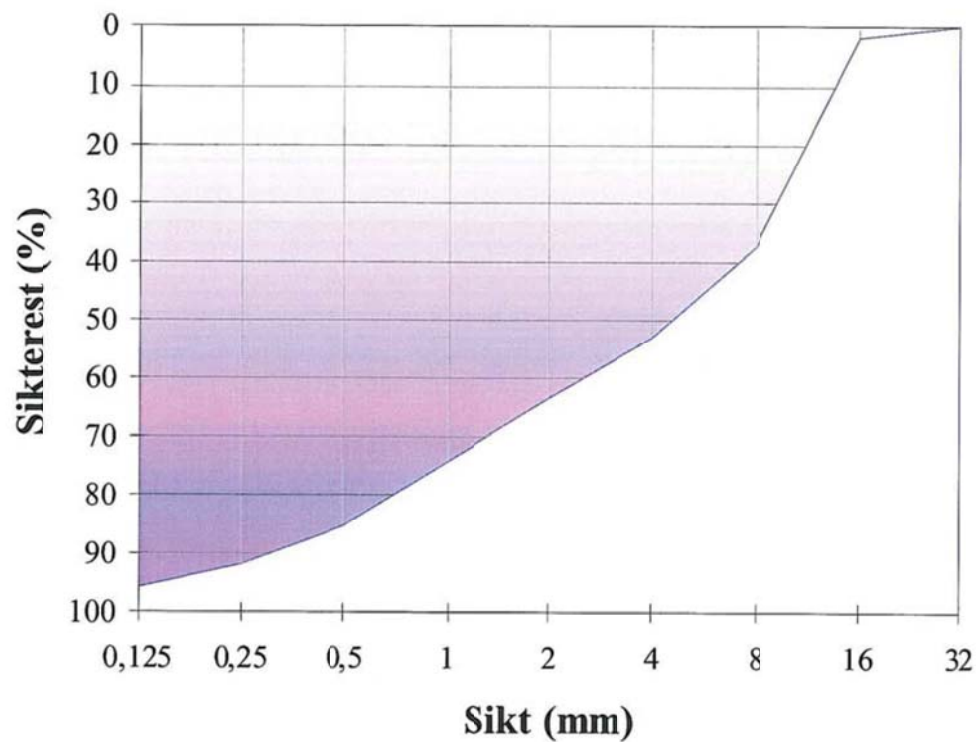
Det er behov for å utvikle pålitelige prosedyrer for måling av inntrengingsdybde.

10 REFERANSER

- 1 Statens vegvesen Intern rapport nr. 2034: «Krav til dokumentasjon av kloridbremsende produkter til overflatebehandling av betong», 1998
- 2 SINTEF metodebeskrivelse MB 71 301: «Prøving av kloridbremsende overflatebehandlingsmidler for betong», 1998
- 3 Statens vegvesen Håndbok 026: Prosesskode-2, Standard beskrivelsestekster for bruer og kaier, Hovedprosess 8, 2007
- 4 NS-EN 1504-2: «Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner. Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar. Del 2: Systemer for overflatebehandling», 2005
- 5 SINTEF prøvingsrapport 70301, 2011-07-12
- 6 SINTEF prøvingsrapport 70306, 2012-03-30
- 7 Nordtest: NT Build 443, Finland 1995
- 8 SINTEF prøvingsrapport 3D0768-01, 2009-10-05
- 9 SINTEF-notat 3D9000.07, 2010-05-24

REFERANSEBETONG
 NS 3099 gruppe 2 - v/c 0,45

Delmateriale	Kg/m ³
Standardsement, Norcem	420
Fritt vann	189
Sand 0-8 mm, Norstone Årdal	1055
Knust singel 8-16 mm, Norstone Årdal	718
Mighty 150	1,4
Romdensitet fersk betong	2390 kg/m ³
Luftinnhold i fersk betong	2,5 %
Trykkfasthet (28 døgn), MPa	58,0



Gradering for sammensatt tilslag

Tabell 1 Produkt 1-HI-silan krem, med tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF og SVV /5/

	Dybde fra overflata [mm]	Kloridinnhold, % av betongvekt					
		SINTEF			SVV		
		12A	13A	14A	36A	37A	38A
1-HI-silan krem	2,5	0,044	0,052	0,061	0,026	0,026	0,026
	7,5	0,030	0,019	0,019	0,017	0,014	0,013
	12,5	0,019	0,019	0,016	0,015	0,013	0,013
	17,5	0,021	0,023	0,016	0,015	0,015	0,013
		12B	13B	14B	36B	37B	38B
1-ref	2,5	0,141	0,163	0,138	0,182	0,153	0,161
	7,5	0,049	0,048	0,035	0,057	0,045	0,044
	12,5	0,020	0,022	0,021	0,028	0,016	0,019
	17,5	0,021	0,019	0,021	0,013	0,019	0,016

Tabell 2 Produkt 2-C-elastisk sementbasert, med tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF og SVV /5/

	Dybde fra overflata [mm]	Kloridinnhold, % av betongvekt					
		SINTEF			SVV		
		15A	16A	17A	39A	40A	41A
2-C-elastisk sementbasert	1	0,015	0,013	0,018	0,020	0,015	0,019
	3	0,013	0,011	0,018	0,015	0,015	0,016
	5	0,011	0,011	0,016	0,014	0,016	0,016
	7	0,012	0,012	0,011	0,016	0,018	0,013
	9	0,011	0,011	0,012	0,016	0,020	0,012
	11	0,010	0,011	0,013	0,013	0,019	0,012
	13	0,010	0,010	0,013	0,010	0,019	0,012
	15	0,010	0,010	0,013	0,011	0,017	0,012
	17	0,010	0,010	0,010	0,009	0,018	0,013
	19	0,010	0,013	0,013	0,009	0,019	0,014
		15B	16B	17B	39B	40B	41B
2-ref	1	0,242	0,215	0,175	0,262	0,306	0,272
	3	0,143	0,131	0,123	0,225	0,222	0,217
	5	0,098	0,079	0,075	0,146	0,141	0,142
	7	0,048	0,051	0,040	0,095	0,075	0,082
	9	0,022	0,032	0,026	0,067	0,055	0,040
	11	0,015	0,023	0,018	0,035	0,024	0,026
	13	0,015	0,017	0,016	0,023	0,024	0,019
	15	0,012	0,013	0,015	0,019	0,021	0,016
	17	0,011	0,015	0,014	0,017	0,019	0,013
	19	0,012	0,014	0,014	0,021	0,018	0,015

Tabell 3 Produkt 3-HI-siloksan væske, med tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF og SVV /5/

3-HI-siloksan væske	Dybde fra overflata [mm]	Kloridinnhold, % av betongvekt					
		SINTEF			SVV		
		18A	19A	20A	42A	43A	44A
	2,5	0,016	0,019	0,016	0,016	0,030	0,021
	7,5	0,012	0,013	0,014	0,017	0,023	0,016
	12,5	0,010	0,016	0,013	0,017	0,023	0,016
	17,5	0,016	0,019	0,013	0,019	0,023	0,020
3-ref		18B	19B	20B	42B	43B	44B
	2,5	0,123	0,118	0,167	0,169	0,178	0,168
	7,5	0,043	0,033	0,044	0,045	0,066	0,046
	12,5	0,019	0,014	0,016	0,022	0,027	0,019
	17,5	0,013	0,012	0,016	0,022	0,025	0,018

Tabell 4 Produkt 4-C-elastisk sementbasert, med tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF /5/

4-C-elastisk sementbasert	Dybde fra overflata [mm]	Kloridinnhold, % av betongvekt		
		SINTEF		
		21A	22A	23A
	2,5	0,017	0,013	0,019
	7,5	0,012	0,012	0,011
	12,5	0,013	0,012	0,012
	17,5	0,017	0,015	0,018
4-ref		21B	22B	23B
	2,5	0,124	0,098	0,133
	7,5	0,032	0,033	0,047
	12,5	0,016	0,014	0,015
	17,5	0,017	0,015	0,012

Tabell 5 Produkt 5-HI-silan krem, med tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF og SVV /5/

5-HI-silan krem	Dybde fra overflata [mm]	Kloridinnhold, % av betongvekt					
		SINTEF			SVV		
		24A	25A	26A	45A	46A	47A
	2,5	0,073	0,074	0,064	0,062	0,045	0,034
	7,5	0,019	0,018	0,019	0,022	0,022	0,017
	12,5	0,015	0,015	0,015	0,015	0,018	0,016
	17,5	0,011	0,018	0,016	0,017	0,019	0,015
5-ref		24B	25B	26B	45B	46B	47B
	2,5	0,146	0,198	0,174	0,166	0,170	0,138
	7,5	0,038	0,065	0,041	0,057	0,052	0,031
	12,5	0,018	0,019	0,015	0,021	0,022	0,018
	17,5	0,018	0,019	0,013	0,021	0,020	0,016

Tabell 6 Produkt 6-HI-silan gel, med tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF og SVV /5/

6-HI-silan gel	Dybde fra overflata [mm]	Kloridinnhold, % av betongvekt					
		SINTEF			SVV		
		27A	28A	29A	48A	49A	50A
	2,5	0,045	0,037	0,054	0,043	0,040	0,045
	7,5	0,019	0,014	0,013	0,018	0,017	0,020
	12,5	0,015	0,013	0,016	0,016	0,013	0,014
	17,5	0,015	0,015	0,016	0,019	0,014	0,015
6-ref		27B	28B	29B	48B	49B	50B
	2,5	0,139	0,162	0,142	0,153	0,174	0,169
	7,5	0,036	0,045	0,036	0,044	0,048	0,040
	12,5	0,019	0,016	0,016	0,016	0,015	0,015
	17,5	0,016	0,015	0,016	0,016	0,015	0,015

Tabell 7 Produkt 7-C-elastic sementbasert, med tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF /5/

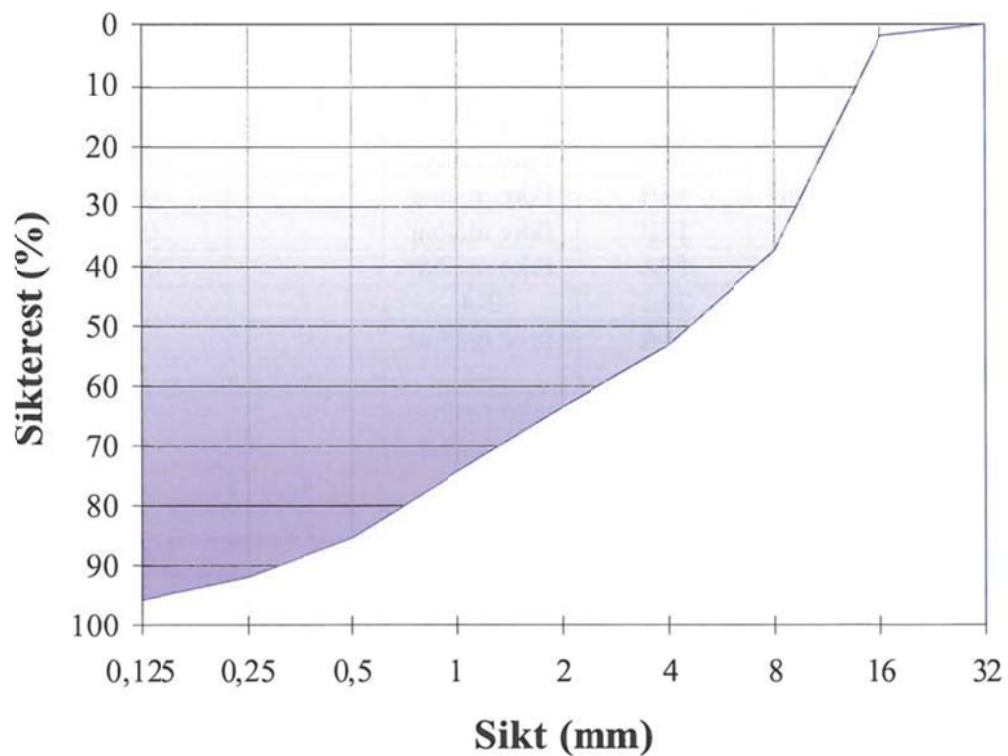
7-C-elastic sementbasert	Dybde fra overflata [mm]	Kloridinnhold, % av betongvekt		
		SINTEF		
		30A	31A	32A
	2,5	0,019	0,019	0,020
	7,5	0,014	0,013	0,013
	12,5	0,013	0,014	0,012
	17,5	0,014	0,019	0,012
7-ref		30B	31B	32B
	2,5	0,139	0,114	0,090
	7,5	0,031	0,029	0,021
	12,5	0,013	0,013	0,012
	17,5	0,010	0,015	0,015

Tabell 8 Produkt 8-C-elastic epoksy, med tilhørende referanser, eksponert ved SINTEF /5/

8-C-elastic epoksy	Dybde fra overflata [mm]	Kloridinnhold, % av betongvekt		
		SINTEF		
		33A	34A	35A
	2,5	0,013	0,016	0,011
	7,5	0,012	0,015	0,014
	12,5	0,011	0,015	0,014
	17,5	0,016	0,015	0,014
8-ref		33B	34B	35B
	2,5	0,108	0,090	0,106
	7,5	0,033	0,027	0,023
	12,5	0,019	0,015	0,017
	17,5	0,013	0,017	0,019

REFERANSEBETONG
 NS 3099 gruppe 2 - v/c 0,45

Delmateriale	Kg/m ³
Standardsement, Norcem	420
Fritt vann	189
Sand 0-8 mm, Norstone Årdal	1055
Knust singel 8-16 mm, Norstone Årdal	718
Mighty 150	1,4
Romdensitet fersk betong	2380 kg/m ³
Luftinnhold i fersk betong	2,6 %
Trykkfasthet (28 døgn), MPa	57,6

Gradering for sammensatt tilslag


VEDLEGG 4

Statens vegvesen Sentrallaboratorium

Betongresept, oppdrag nr 6120001

Delmaterialer	kg/m³
Sement Aalborg CEM I 52,5 N	394
Vann	173
Sand 0-8 mm, Svelviksand	994
Stein, 8-16 mm Svelviksand	785
Superplastiserende Glenium 151	2,2

Følgende resepter er vedlagt SINTEF prøvingsrapport 3D0768-1 /8/:

REFERANSEBETONG I HENHOLD TIL NS-EN 1766

Referansebetong C(0,45)		
Norcem Standardsement (CEM I)	kg/m^3	357
Fritt vann		161
Absorbert vann i tilslag		7
Årdal 0-8 mm natursand		1168
Årdal 8-16 mm delvis knust singel		685
Sika SSP 2000		2,5
Konsistens NS-EN 12350, mm		190
Luftinnhold NS-EN 12350, %		3,6
Densitet NS-EN 12350, kg/m^3		2385
Trykkfasthet (terning) 28 døgn NS-EN 12390, MPa		62

REFERANSEBETONG I HENHOLD TIL NS-EN 1766

Referansebetong C(0,70)		
Norcem Standardsement (CEM I)	kg/m^3	248
Fritt vann		173
Absorbert vann i tilslag		6
Årdal 0-8 mm natursand		1354
Årdal 8-16 mm delvis knust singel		450
Sika SSP 2000		1,0
Konsistens NS-EN 12350, mm		190
Luftinnhold NS-EN 12350, %		7,5
Densitet NS-EN 12350, kg/m^3		2230
Trykkfasthet (terning) 28 døgn NS-EN 12390, MPa		34



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen