

Trafikverkets projekt: AL90 B 2007:24775

Ytbehandling av anläggningskonstruktioner

– Effekt på kloridinträngning, karbonatisering och salt-frostbeständighet



CBI Betonginstituteth

Trafik (Vägverkets) projekt: AL90 B 2007:24775

Ytbehandling av anläggningskonstruktioner

– Effekt på kloridinträngning, karbonatisering och salt-frostbeständighet

Katarina Malaga (projektledare)

Ansvariga för laboratorieprovning: Pavlos Ollandezos, Per Malmback, Pierre Svensson
Litteraturstudier: Anders Selander

2010-12-10

Nyckelord:

Ytbehandling, silan, kloridinträngning, karbonatisering, salt-frostbeständighet

Innehållsförteckning

1	Orientering	5
2	Inledning	5
3	Projektets upplägg	6
4	Litteraturgenomgång - impregneringsmedel	6
4.1	Kemi	6
4.2	Funktion	8
4.3	Inträngningsdjup och effekt	9
4.4	Erfarenheter	11
5	Material och metodik	14
5.1	Ytbehandlingspreparat	14
5.2	Tillverkning av provkroppar	14
5.3	Applicering av ytbehandlingspreparat	16
5.4	Förbehandling – karbonatisering	16
5.5	Laboratorieprovningar	16
5.5.1	Inträngningsdjup	16
5.5.2	Kloriddiffusion	16
5.5.3	Kloridmigration	17
5.5.4	Uttorkning	17
5.5.5	Vätskeabsorption	17
5.5.6	Salt-frostbeständighet	17
5.5.7	Kontaktvinkel	18
5.6	Fältexponering	18
5.6.1	Märkning av provkroppar som exponerades vid Riksväg 40	19
6	Resultat	20
6.1	Inträngningsdjup	20
6.2	Kloridinträngning vid laboratorielagring	21
6.3	Kloridinträngning vid fältexponering	23
6.4	Kloridmigration	25
6.5	Uttorkning	26
6.6	Vätskeabsorption	27
6.7	Salt-frostbeständighet	28
6.8	Kontaktvinkel	31
7	Diskussion	32
8	Slutsatser	33
8.1	Litteraturgenomgång	33
8.2	Laboratorieprovningar	34
8.3	Fältexponering	35
9	Rekommendationer	35
9.1	Referenser	36
	Bilaga 1: Planering för provkroppstillverkning	40
	Bilaga 2: Inträngningsdjup	41
	Bilaga 3: Resultat från salt/frost provning	43
	Bilaga 4: Vätskeabsorption	57

Sammanfattning

På uppdrag av Trafikverket har CBI Betonginstitutet genomfört ett projekt med syftet att utreda effektiviteten av att ytbehandla betongkonstruktioner med silanbaserade preparat. Projektet har haft som mål att svara på följande frågor genom litteraturgenomgång, laboratoriestudier och fältförsök:

- Har den naturliga förtätningen av ytan hos självkompakterande betong, betong med lägre vct och betong med filler bestående av fint material en skyddande effekt mot kloridinträngning och salt-frostpåverkan?
- Hur påverkas kloridinträngning och salt-frostbeständighet av ytbehandling på olika typer av betong?
- Förhindrar ytbehandlingen de positiva effekterna av den naturliga förtätningen av ytan?
- Leder olika ytbehandlingsmedel till olika resultat med avseende på den skyddande effekten när det gäller kloridinträngning, karbonatisering och salt-frostbeständighet?

Resultaten från studien visar att den naturliga förtätningen inte har någon skyddande effekt mot kloridinträngning och/eller salt-frostpåverkan, oberoende av betongkvalitet. Ytbehandlingen har i sin tur inte någon påvisbar varken negativ eller positiv inverkan på karbonatiseringen.

Ytbehandling av betong med silanbaserade preparat ger överlag ett bra skydd mot kloridinträngning och ökad salt-frostbeständighet. Skillnaden i effekt mellan de två ytbehandlingar som har ingått i studien bedöms vara av mindre betydelse, medan typen av betong haft avgörande inverkan på slutresultatet. Störst effekt har ytbehandlingen på betong med högt vct (0,70), men även för tätare betong (vct 0,45) har behandlingen en gynnsam effekt. För betong med lufttillsats (vct 0,45) samt för självkompakterande betong (vct 0,45) är ytbehandlingens effekten svår att utvärdera vid laboratorieprovning enligt SS EN 1504-2. Om utvärdering av ytbehandlingens effekt ska genomföras för olika typer av betong måste provningsmetodik och kravspecifikation också anpassas efter detta.

1 Orientering

På uppdrag av Trafikverket har CBI Betonginstitutet genomfört ett projekt med syftet att utreda effektiviteten av att ytbehandla betongkonstruktioner med silanbaserade preparat. Projektet har haft som mål att svara på följande frågor genom litteraturgenomgång, laboratoriestudier och fältförsök:

- Har den naturliga förtätningen av ytan hos självkompakterande betong, betong med lägre vct och betong med filler bestående av fint material en skyddande effekt mot kloridinträngning och salt-frostpåverkan?
- Hur påverkas kloridinträngning och salt-frostbeständighet av ytbehandling på olika typer av betong?
- Förhindrar ytbehandlingen de positiva effekterna av den naturliga förtätningen av ytan?
- Leder olika ytbehandlingsmedel till olika resultat med avseende på den skyddande effekten när det gäller kloridinträngning, karbonatisering och salt-frostbeständighet?

Projektet förväntas också tillföra ytterligare kunskap om ytbehandlingens effekt på kloridinträngning, karbonatisering och salt-frostbeständighet för olika typer av betong. Ökad kunskap kan i sin tur leda till en mer optimerad användning av ytbehandlingsmedel.

Laboratorieundersökningen har utförts på CBI:s laboratorium. Fältexponering har genomförts vid SP:s fältprovplats utmed Riksväg 40.

I rapporten används några begrepp som synonymer: hydrofob = vattenavvisande; hydrofil = vattensugande; ytbehandling = impregnering.

2 Inledning

Trafikverket använder årligen stora resurser till ytbehandling av såväl nya som gamla betongkonstruktioner med ytbehandlingsmedel. Detta trots att effektiviteten av ytbehandlingen är dåligt utredd.

Syftet med att ytbehandla betongkonstruktioner som t.ex. broar är att förbättra beständigheten mot betongskador och armeringskorrosion genom att fukt- och kloridtransport sker långsammare i betongen om den är ytbehandlad. Effekten är dock oklar och det finns få studier av ytbehandlingens effektivitet. Detta gäller särskilt för moderna betongkonstruktioner med nya täta betongsammansättningar och tjocka täcksikt. Självkompakterande betong, betong med lägre vct och betong med filler bestående av fint material ger en tätare struktur. Effekten av den strukturella förtätningen av ytan har emellertid inte studerats mer ingående. Senare års forskning har visat att betongytan för vanlig obehandlad brobetong med tiden även får en markant förtätning av porstrukturen på grund av karbonatisering (Utgenannt, 2005). Sannolikt leder detta till att ytan får ett naturligt skydd mot inträngning av klorider och fukt samt bättre salt-frostbeständighet. Frågan om hur olika ytbehandlingsmedel inverkar på beständigheten är inte heller utredd och det finns farhågor om att för tidigt applicerad ytbehandling bromsar och/eller förhindrar de positiva effekterna av den naturliga ytförtätningen.

3 Projektets upplägg

Projektet har varit uppdelat i ett antal aktiviteter:

- Litteraturstudie och analys av befintlig kunskap och erfarenhet vid CBI Betonginstitutet.
- Val av ytbehandlingar, beroende på provningens omfattning. Två olika ytbehandlingspreparat kom att ingå.
- Tillverkning av provkroppar med olika betongsammansättning: självkompakterande betong och konventionell betong med olika vct. Provkroppar har tillverkats för laborieprovning och för exponering i fält.
- Applicering av ytbehandlingspreparat.
- Laborieprovningar: undersökning av hydrofoberingsförmåga, klorid- och fukttransport samt inverkan på salt-frostbeständighet.
- Fältexponering under två vintrar. Fotodokumentation.
- Provning av provkroppar exponerade i fält efter 1 respektive 2 vintersäsonger.
- Rapportering (del och slutrapportering).

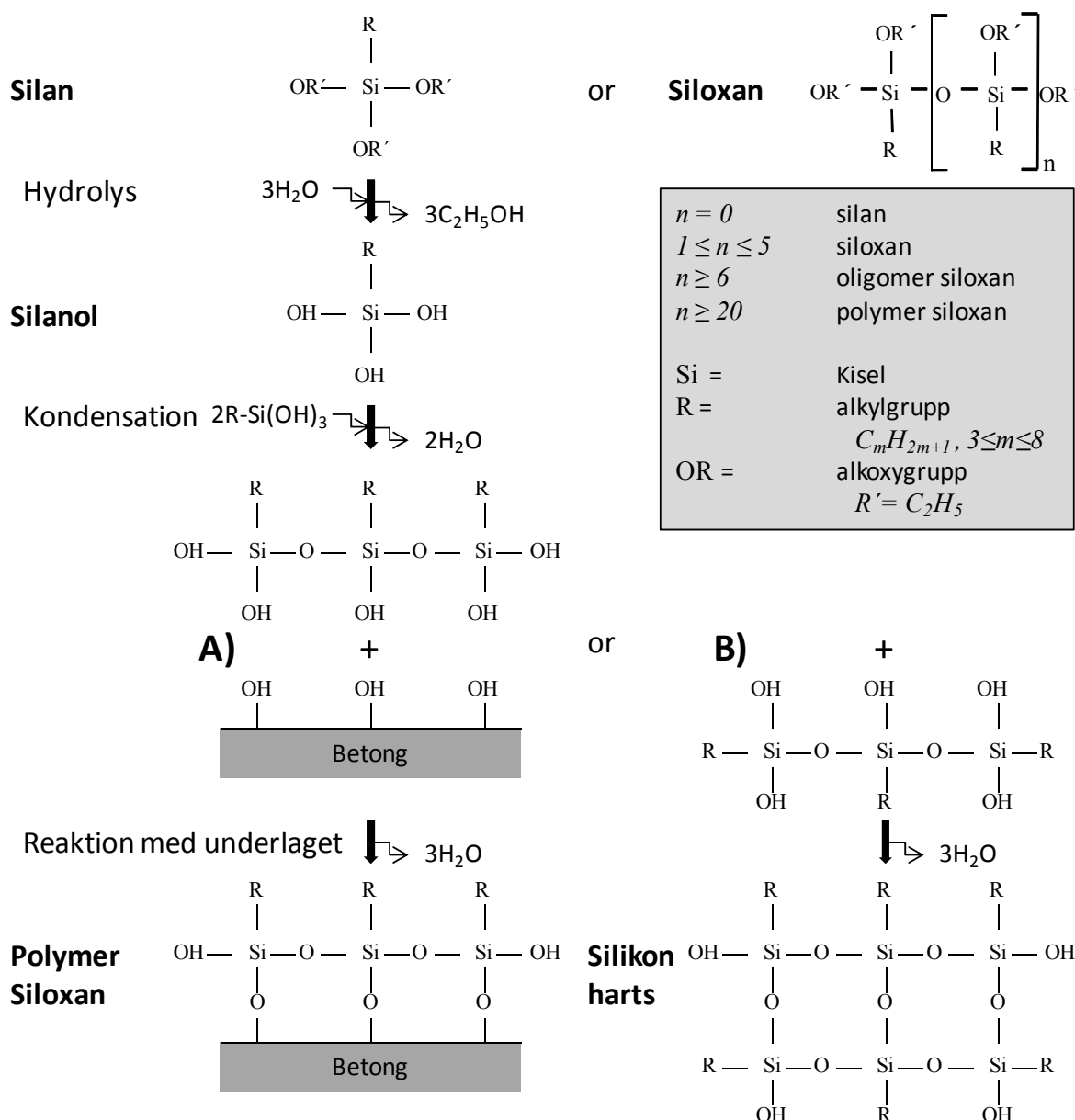
4 Litteraturgenomgång - impregneringsmedel

Impregneringsmedel eller mer korrekt vattenavvisande impregneringsmedel som appliceras på betongkonstruktioner används i Sverige i första hand för att skydda armeringen från vägsalter. Genom att göra betongens ytskikt vattenavstötande begränsas bland annat kloridjonernas möjlighet att transporteras in till armeringen vilket i många fall kan förlänga konstruktionens livslängd.

4.1 Kemi

Vatten avvisande impregneringsmedel som används på betong är i dagsläget till största del silanbaserade. Silaner eller alkylalkoxysilaner som det faktiskt handlar om är små molekyler som transporteras in i betongen genom kapillärkrafter och reagerar på plats. Kiselatomen i silanen har fyra bindningsmöjligheter där tre stycken utgörs av alkoxygrupper vilka reagerar i kontakt med vatten och binder till andra silaner i dess närhet och betongens porväggar. Reaktionen resulterar i ett fint nätverk (polymer siloxan (A)/ silikonharts (B)). I vilken grad denna slutprodukt binder kemiskt till porväggen är dock oklart. Den fjärde gruppen i molekylen utgörs av en alkylgrupp. Denna reagerar inte utan det är denna som ger impregneringen dess avsedda vattenavvisande effekt. Figur 1 visar en förenklad skiss av reaktionen.

Silaner/siloxaner i impregneringsmedel på betong har använts i Sverige sedan sent 80-tal även om det även tidigare förekom enstaka försök. Silanen som molekyl betraktad började dock användas redan på 1940-talet men då i forskningssyfte av militären i USA. I takt med att kompositmaterial började bli allt mer intressant i militära tillämpningar växte behovet av god vidhäftning mellan fiber och matris. Under benämningen "Silane Coupling Agents" undersöktes då silanen för dess förmåga att skapa starka beständiga bindningar (kovalenta) mellan oorganiska och organiska ämnen, *Plueddemann* (1991). Till betongens oorganiska yta binds en kolkedja (alkylgrupp) som gör betongens yta vattenavstötande. I *Arkles m.fl.* (1977) finns en utförlig beskrivning av polymerisationen från silan, via siloxan till silikonharts vilken även Figur 1 baseras på. På den svenska marknaden används i huvudsak tre stycken olika silaner till impregneringsmedel på betong där endast storleken på alkylgruppen varierar.



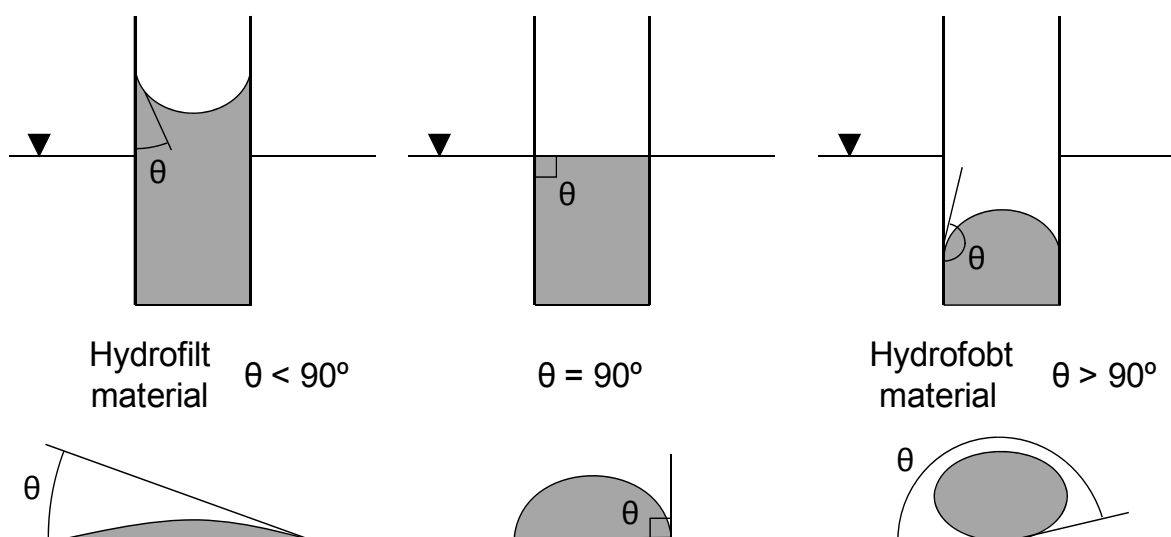
Figur 1: Reaktionen för ett trefunktionellt silan/siloxan-baserat impregneringsmedel. Scenario A) visar hur ett fint nätverk av polymer siloxan bildas på porväggarna och B) en silikonharts (*Selander, 2010*).

När vattenavvisande ytbehandlingar började användas på betongkonstruktioner fanns ett stort antal olika silaner och siloxaner på marknaden men via praktiska erfarenheter och försök har antalet begränsats. I t.ex. *De Clercq m.fl.* (2001) och *Gerdes m.fl.* (2005), där storleken på alkyl- och alkoxygruppernas inverkan på reaktionsbenägenheten i betong studerats, ses bland annat att metoxygrupper reagerar avsevärt mycket snabbare än etoxygrupper samt att större alkylgrupper fördröjer alkoxygruppens reaktion markant. Gammal betong är ofta karbonatiserad vilket medför att pH-miljön drastiskt sänks i ytskiktet. I *Osterholtz m.fl.* (1991) presenteras en sammanställning av polymerisationshastighetens pH-beroende och även om det finns variationer så antar kurvan en V-form på en log-skala med minimum kring pH-värdet 6-7. I fallet betong och karbonatisering handlar det om en pH-sänkning från ca 13 till 9. Det skulle enligt *Osterholtz* i sådana fall innebära att polymerisationshastigheten sänks med en till två tiopotenser. Exakt vilken silan eller siloxan som är optimal varierar självklart med vilka förutsättningar (betong, fuktnivå, pH-värde m.fl.) som gäller vid impregneringen men nästan alla impregneringsmedel som finns på marknaden idag använder alkyltriethoxysilaner med tre till åtta kolatomer i alkylgruppen.

4.2 Funktion

Det som händer med betong vid en impregnering är att de fuktmekaniska egenskaperna förändras. Betong är ett hydrofilt material, dvs. ett sugande material. Detta beror på att de fina kapillärerna i kombination med vattnets ytegenskaper ger en drivande kraft för fukttransporten i form av vätska. När en betong impregneras förändras betongens ytegenskaper från hydrofila (vattenattraherande) till hydrofoba (vattenavstötande) vilket medför vissa förändringar ur fuktmekanisk synvinkel. Detta brukar illustreras genom att definiera en kontaktvinkel θ mellan vatten och betong, se figur 2.

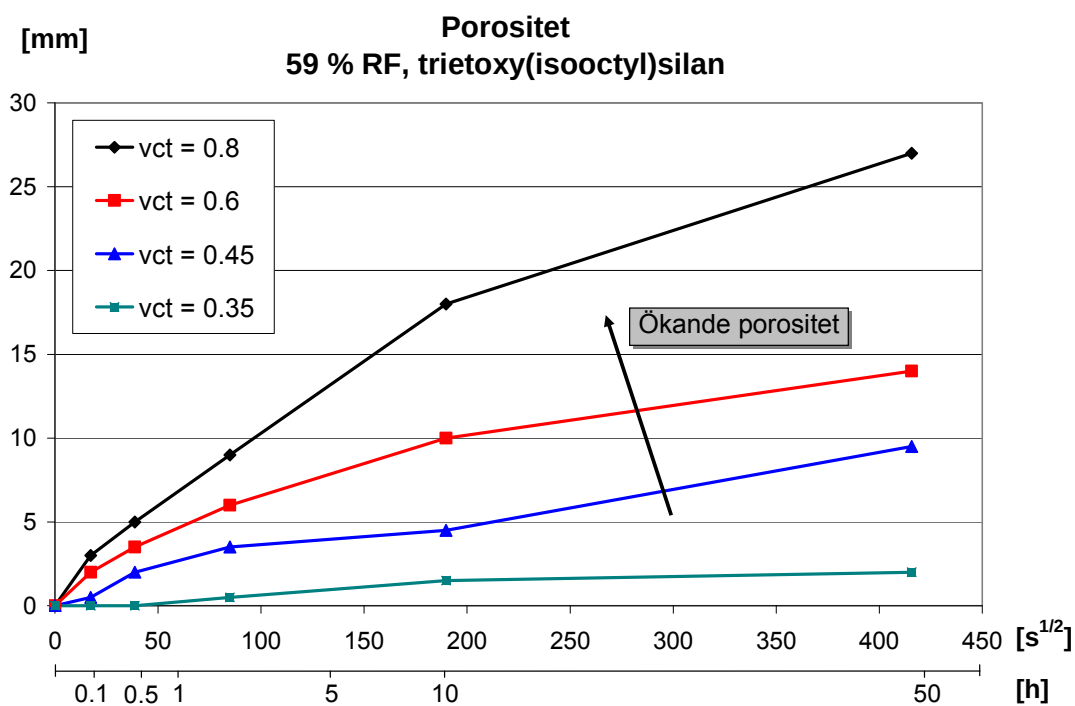
Förenklat kan impregneringen ses som ett membran där vattendroppar stoppas medan vattenånga tillåts passera. I vissa situationer kan detta ha en permanent fukthaltssänkande funktion när till exempel regn hindras från att tränga in, medan vattenånga kan diffundera ut under varma dagar. Ett exempel på detta är den fristående 80 meter höga Skatteskrapan (numera Skrapan) i Stockholm där mätningar visar att fuktnivån kunde sänkas med upp till 20 % när omständigheterna var de rätta, (*Johansson m.fl.* 2008).



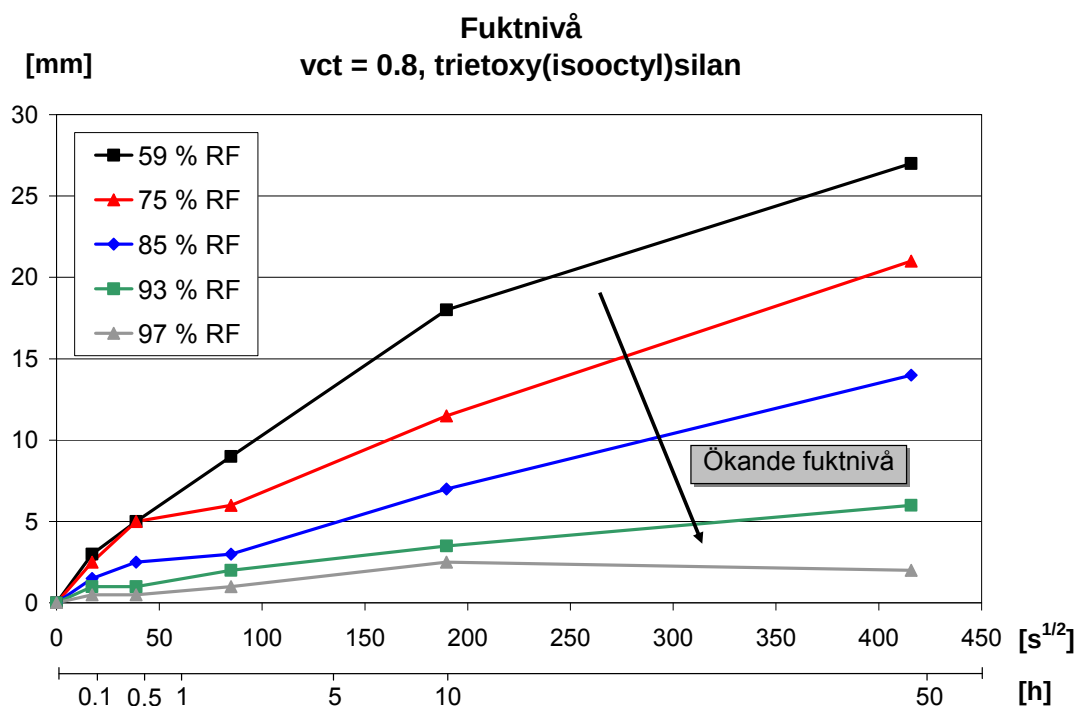
Figur 2: Skillnaden mellan ett hydrofilt och ett hydrofobt material illustrerat med en kontaktvinkel. Överst i form av en kapillär och underst som en vattendroppe (*Selander, 2010*).

4.3 Inträngningsdjup och effekt

En förutsättning för att kunna utnyttja impregneringens positiva egenskaper är att medlet tränger in i konstruktionen. Stannar impregneringen på ytan kan effekten avta relativt snabbt. De tre viktigaste faktorerna för alla impregneringsmedels inträngning i betong är betongens porositet, betongens fuktnivå vid impregneringstillfället och kontaktiden mellan betong och impregneringsmedel. Hög porositet, låg fuktnivå och lång kontaktid ger bättre förutsättningar för att få ett stort inträngningsdjup. Med kontaktid avses här den tid betongkonstruktionens yta kan kapillärsuga impregneringsmedlet. De tre ovan nämnda faktorerna kan sammanfattas som tillgängligt utrymme och tiden att fylla detta. Porositeten avgör hur stort detta utrymme är, fuktnivån hur mycket av utrymmet som är tillgängligt och kontaktiden hur mycket av det tillgängliga utrymmet som hinner behandlas. Figur 3 och 4 visar hur stor inverkan dessa tre faktorer har.



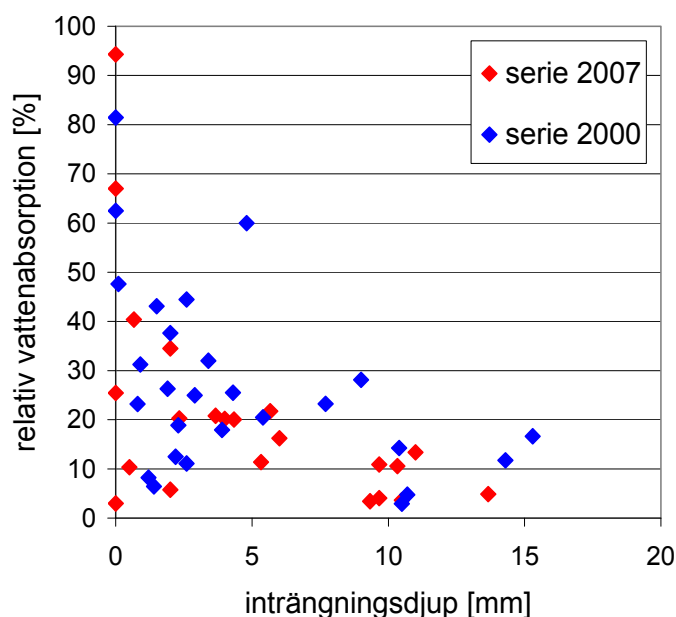
Figur 3: Porositetens inverkan på inträngningsdjupet. Provkropparna konditionerades i ett halvt år i 59 % RF och behandlades med trietoxy(isooctyl)silan. (Selander, 2009)



Figur 4: Fuktnivåns inverkan på inträngningsdjupet. Provkropparna konditionerades ett halvår i respektive RF-miljö innan de impregnerades med trietoxy(isooctyl)silan. (Selander, 2009)

Exakt hur stort inträngningsdjup och koncentration som krävs eller vilken del av porsystemet som behöver behandlas för att få en god effekt varierar självklart med vilken betongkvalitet som används och vad den är utsatt för. Som exempel kan nämnas att en impregnering med 2 mm inträngningsdjup på en betong med $vct=0.45$ i Eugeniattunneln, Stockholm gett en 70-80 % reduktion på kloridinträngningen (Selander, 2010).

Impregneringens kvalitet är avgörande för ytskyddets funktion. Kvaliteten är i sin tur kopplad till inträngningsdjupet. Figur 5 visar ett exempel på hur impregneringens effekt kan relateras till inträngningsdjupet. Sycon Stockholm Konsult (numera Grontmeij) har arbetat med denna fråga i ett examensarbete Bofeldt (2001) och Bofeldt & Nyman (2001). I examensarbetet studeras inverkan av relativ luftfuktighet RH , vattencementtal vct och kapillärsugningstid på inträngningsdjupet. Bland resultaten kan nämnas att kvoten i inträngningsdjup mellan studiens mest gynnsamma ($vct = 0,70$, $RH = 65\%$) och mest ogynnsamma kombination ($vct = 0,40$, $RH = 90\%$) var c:a 30. Liknade slutsatser dras även i Hankvist & Karlsson (2001), Gerdes & Wittmann (2001), Meier & Wittmann (2001).



Figur 5: Vattenabsorptionen hos impregnerade prover jämfört med dess referens. Varje punkt representerar ett medelvärde av tre impregnerade prover dividerat på dess tre obehandlade referenser. Resultatet är en sammanställning av en studie av *León & Nyman* som presenterades i Bygg & teknik 7/01 samt uppföljande mätningar från 2007.

4.4 Erfarenheter

I USA har man studerat ytskydd sedan 1970-talet. I *Powell m.fl. (1993)* behandlas djupimpregnering med polymerer för att skydda brobaneplattan från armeringskorrosion. De berättar om två försök som utfördes i Bethlehem 1975 resp. Boalsburg 1985 på två broar i Pennsylvania. Ett begränsat område av vardera brobaneplattan impregnerades med *metylmetakrylat*. Utifrån mätningar av kloridinnehåll, korrosionspotential, korrosionsfart och resistivitet från Boalsburg dras slutsatsen att kloridinträngningen sker långsammare i den impregnerade betongen, men att skillnaden varierar kraftigt med såväl tid som djup. Efter nio år är skillnaden störst på djupet 25-38 mm; inträngningen går c:a 40 % långsammare i den impregnerade betongen. Mätningar av korrosionsfarten gav tydligare besked; i den icke-impregnerade referensbetongen var farten 2,5 gånger högre än i den impregnerade betongen. I Bethlehem var skillnaderna ännu större; här rostade armeringen i den icke-impregnerade betongen 10 gånger snabbare.

F. Andrews-Phaedonos (1994) rapporterar om användningen av ytskydd på en slakarmerad australiensisk bro utanför Melbourne. Tre typer av skyddsbeläggning (innehållande silan, polymermodifierat cement respektive epoxi) undersöktes. Då artikeln skrevs hade ytskydden bara varit i bruk två år. De befanns samtliga vara i god kondition, men som författaren påpekar i sin artikel krävs uppföljande mätningar innan slutgiltiga slutsatser kan ges.

Lars Johansson, CBI, (1993) har gjort en mycket gedigen genomgång av ytbehandling av betongkonstruktioner. Han behandlar en lång rad olika färger, plaster, oljor, epoxi, silaner m.fl. Han går även igenom materialval, utförande, kvalitetssäkring och miljöaspekter. Det har dock hänt mycket på detta område under de senaste 17 åren, inte minst vad gäller

djupimpregnering med silaner och siloxaner.

Storbritannien besitter en stor kompetens inom reparation och underhåll av betongkonstruktioner. Enligt *Hurley* (2001) har silaner, siloxaner och silikon framgångsrikt använts som ”*breathable*” ytskydd för betong- och murverkskonstruktioner under minst tio-femton år. Brittiska TRL har bidragit starkt till utvecklingen av nya provningsmetoder för godkännande av impregneringsmedel (EN 13579 – 13581, 2002).

I Stockholms stad har man goda erfarenheter av att impregnera betongen som skydd mot salt och vatten. *Folke Karlsson* (1997) hävdar att salt och vatten antingen är orsaken till eller en påskyndande faktor för de flesta skademekanismer i betong. Kan betongen hållas fri från salt och vatten kommer risken för skador därmed att minska högst väsentligt. En perfekt betong behöver inte något ytterligare skydd, men sådan är svår att åstadkomma. Särkilt utsatta brodelar bör därför behandlas med ytskydd. För utomhuskonstruktioner måste betongen kunna andas, vilket betyder diffusionsöppna system. Vattenånga skall kunna komma ut ur betongen, men vatten i vätskefas hindras från att tränga in. *Folke Karlsson* hänvisar till materialprovningen vid dåvarande Stockholm Konsult och dess framgångsrika och omfattande försöksserier som visar att silan- och siloxanpreparaten i kraft av sin diffusionsöppna karaktär och hydrofoba förmåga mycket väl uppfyller dessa krav. För att impregneringen skall fungera väl krävs att impregneringsmedel tränger in i betongen.

Silaner och siloxaner på betongens yta bryts så småningom ned av solens ultraviolettera ljus. Siloxan har större molekylstorlek än silan och har därför svårare att tränga in i betongen, varför användningen av siloxaner bör begränsas till betongkonstruktioner med grovporig ytstruktur eller begränsad livslängd. För att få ett gott resultat är det viktigt att betongen är ren och fri från smuts, olja och andra föroreningar vid appliceringen av impregneringspreparaten. Preparatet kan antingen appliceras i vätskefas eller som beståndsdel tillsammans med en förtjockare. Inträngningsdjupet ökar med ökande kapillärsugningstid, minskande fukttinnehåll i betongen och minskande täthet. Med olika dispergeringar som förlänger denna nås väsentligt längre kapillärsugningstid och *Karlsson* rekommenderar därför denna teknik för konstruktioner i högvärdig betong med högt fukttinnehåll, svåråtkomliga konstruktionsdelar, prefabricerade betongpelare som flottas ut i saltvatten, betongkonstruktioner som utsätts för både tösaltning och nötning samt betongkonstruktioner som måste klotterskyddas och klottersaneras.

Frågor kring kombination av klotterskydd och impregnering har också studerats av dåvarande Stockholm Konsult i en artikel av *Bertil Nyman* (1998). Det är bättre att förekomma klottrarna än att förekommas av dem. Försök visar att klotterskydd som appliceras på en redan utförd impregnering fungerar effektivt mot klotter (klottrets inträngning befanns sjunka från 2-3 mm till 0,4 mm) utan att impregneringens skyddseffekt mot salt och vatten försämras. Måste man däremot först klottersanera med kemiska bekämpningsmedel får silaner svårt att tränga in i betongen och impregneringens skyddande effekt försämras avsevärt.

Vid en impregnering förändras betongens fuktmekaniska egenskaper från hydrofila till hydrofoba. Denna förändring påverkar transporten av ånga och vätska samt i förlängningen ämnen lösta i vätskan t.ex. salter. En förutsättning för att förstå vad detta innebär för betongkonstruktionen är att känna till hur ångdiffusionskoefficienten påverkas. I *Johansson m.fl* (2006) undersöks två betonger med vattencementtalet 0,8 respektive 0,45 med koppmetoden för att bestämma ångdiffusionskoefficienten. Hälften av provkropparna impregnerades med isooctyltriethoxysilan med kapillär uppsugning och den andra halvan

lämnades obehandlad. Silanen är en av de mest använda på svenska marknaden. Fyra olika saltlösningar användes i kopparna med mellan 85 och 97 % relativ fuktighet och omgivande klimat hölls vid 50 % RF. Viktminskningen mättes varje vecka tills ett konstant flöde uppnått. Bland slutsatserna märks: Ångdiffusionskoefficienten för aktuell silan är nära konstant och inte alls så beroende av relativa fuktigheten som obehandlad betong. Skillnaden är mest markant vid höga RF vilket förklaras med att transporten i vätskefas är nära noll för de impregnerade proverna till skillnad från de obehandlade där denna transport är dominant.

I *Sadouki & Wittman* (1998) presenteras ett liknade utseende på transportkoefficienten baserat på uttorkningsförsök och en numerisk analys. Detta principiella utseende på transportkoefficienten förklarar den sänkning av RF som under gynnsamma förhållande kan uppkomma genom en impregnering *Johansson m.fl* (2008). Skatteskrapan i Stockholm, byggd 1959, är ett bra exempel på detta. Byggnaden 81 m hög, fristående och klädd med förtillverkade betongelement. Dessa hade flera fuktproblem. Ett byte av alla fasadelementen skulle bli mycket dyrt. Man valde istället att försöka sänka fuktigheten. Tre ställen på byggnaden valdes för jämförande provning: på markplanet mot väster, nära taket mot norr och mot söder. De tre fasadelementen behandlades med isooctyltriethoxysilane två gånger samma dag. Två element vid varje provställe användes som referens. Mätningar som utfördes under 2003 och 2004 visade ingen sänkning av relativa fuktigheten på byggnadens norra sida. På västra och södra sidan erhöles en tydlig sänkning i storleksordning 20 %. Armeringens livslängd bedömdes kunna öka med 20–30 % och expansionen av svällande lera minska på grund av den sänkta fuktigheten.

Impregneringens inverkan på beständigheten i självkompakterande betong har undersökts i ett annat examensarbete i samarbete med Skanska, *Olsson & Sjödin* (2002). Laboratorieprov med husbyggnads- och anläggningsbetong studerades under några månader. En viktig slutsats i projektet var att impregneringen inte kunde påvisas ge någon mätbar effekt på beständigheten hos anläggningsbetongen, däremot hos husbyggnadsbetongen. En fråga är då om det är onödigt att impregnera anläggningsbetong. Alternativt skulle täckskikten kunna minskas i konstruktioner med anläggningsbetong om dessa impregneras. Dessa frågor ventilerades även på ett speciellt seminarium kring ytskydd som arrangerades på CBIs informationsdag den 13 mars 2003. Korta exponeringstider i laboratorieförsök ger emellertid osäkra bedömningar om långtidseffekter.

Impregneringsmedel har använts för att minska vatteninträngning i byggnader i många år. Trots detta är det ännu inte möjligt att utvärdera beständigheten utan långtidsförsök. I *Buttner & Raupach* (2008) analyseras olika möjliga nedbrytningsmekanismer (karbonatisering, UV-ljus och hög alkalitet) i ett försök att skapa tillförlitliga accelererade försök. Kontaktvinkel, absorption och inträngningsdjup beaktas i försöken. Hur impregneringarna fungerar på längre sikt har även studerats empiriskt av Carl Bro (numera Grontmeij). Mätningar som refereras i *Alberto León & Bertil Nyman* (2001) visar att impregnering med silan/siloxan kan ha en stor effekt på vattenabsorptionen nio år efter behandlingen. I dagsläget används i de flesta fall silanbaserade impregneringar tillsammans med någon form av förtjockare för att förlänga kapillärsugningstiden. Ingenting talar för att de moderna impregneringsmedlen skulle ha en sämre långtidseffekt än de som användes på tidigt 1990-tal. En uppföljning på dessa mätningar genomfördes av *Johansson m.fl* (2008) där en avtagande effekt kunde noteras men att den låg inom felmarginalen och att den var mycket låg. I slutsatserna konstateras i stället att det mesta talar för att en väl utförd impregnering har en livslängd på åtminstone 15 år och förmodligen betydligt längre än så. I *Shuere m.fl* (2008) presenteras en uppföljning av en impregnering utförd på en större kajkonstruktion av armerad betong byggd 1993.

Impregneringen med silan ger en tydlig positiv inverkan efter 3, 5 och 12 års exponering. Laboratorieprovningar visar att inträngning i genomsnitt är 3,5 mm för denna impregnering med 8 mm som största värde.

5 Material och metodik

5.1 Ytbehandlingspreparat

Två olika silanbaserade ytbehandlingspreparat har valts. Dessa är:

- StoCryl HG 200, gel (med bentonitlera) från Sto, appliceringsmängd 500 g/m².
- DC 6341, vätska från Dow Corning, appliceringsmängd 300 g/m².

Preparaten valdes för att de är vanligt förekommande men av olika typ (gel respektive vätska). De kommer fortsättningsvis att benämnas HG respektive DC i rapporten.

5.2 Tillverkning av provkroppar

Provkroppar med olika betongsammansättning tillverkades för laboratorieprovning och för exponering i fält. Självkompakterande betong (SKB) och konventionell betong med vct 0,45 respektive 0,70 ingick.

Plastformar (av typ: C232) användes för gjutning Cirka 200 provkroppar med dimensioner 100 mm x 100 mm x 100 mm tillverkades för fältprovning respektive laboratorieprovning.

Provkroppar visas på foton 1-3. Schemat för provkroppstillverkning och planerade provningar framgår av Bilagan 1.

Provkropparna/-kuberna konditionerades i 6 veckor vid 20° C och 50 % relativ fuktighet. Därefter applicerades ytbehandlingarna på provkropparnas samtliga sidor och de konditionerades i ytterligare 3 veckor.

En del provkroppar karbonatiserades före ytbehandling.

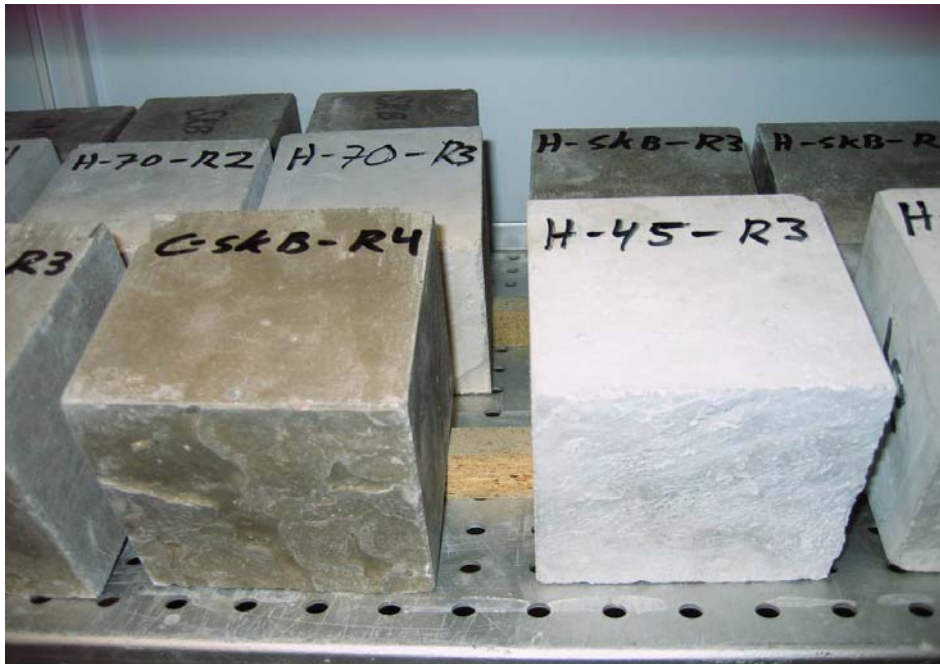


Foto 1: Märkta provkroppar.



Foto 2: Referensprovkroppar - konditionering

5.3 Applicering av ytbehandlingspreparat

Ytbehandlingspreparaten (HG och DC) applicerades enligt respektive producents rekommendation.



Foto 5: Applicering av impregneringsmedel.

5.4 Förbehandling – karbonatisering

Provkroppar förkarbonatiserades genom konditionering 140 dygn i 2 % koldioxid för att säkerställa en kraftig karbonatisering i ytskiktet.

5.5 Laboratieprovningar

Undersökningar av inträngningsdjup, klorid- och fukttransport (vattenabsorption och uttorkning) samt inverkan på salt-frostbeständighet genomfördes vid CBI:s laboratorium. Använd metodik för bestämning av inträngningsdjup (SS EN 14630), kloriddiffusion (SP-metod 0433), kloridmigration (NT BUILD 492), uttorkning (SS EN 13579), vätskeabsorption (SS EN 13580), salt-frostbeständighet (SS EN 13581) och kontaktvinkel beskrivs kortfattat i följande avsnitt. Nämda SS EN-standarder föreskrivs i den kravspecifikation som ingår i SS EN 1504-2 för hydrofob impregnering, och har därför valts. Beträffande kloridinträngning hänvisas i SS EN 1504-2 till nationella standarder.

5.5.1 Inträngningsdjup

Ytbehandlings inträngningsdjup bestämdes genom att spräcka provkroppar, väta den spräckta ytan med vatten och därefter mäta avståndet från den behandlade ytan till den gräns där betongen inte längre har en vattenavstötande förmåga. Provningsen genomfördes enligt modifierad metodbeskrivning EN 14630, vilken också refereras till i SS EN 1504-2. Vatten ersätter fenolftalein i metodbeskrivningen.

5.5.2 Kloriddiffusion

Provkroppar med dimensioner 100 mm x 100 mm x 20 mm sågades ut från betongkubernas centrala delar, vinkelrätt mot överytan, och konditionerades i 14 dygn vid $(21 \pm 2) ^\circ\text{C}$ och $(60 \pm 10) \%$ RF. Efter konditioneringen ytbehandlades hälften av provkropparna och konditionerades därefter i ytterligare 14 dygn. Behandlade och obehandlade provkroppar lagrades slutligen i 15 %-ig NaCl-lösning, i separata behållare, under 56 dygn. Efter lagringen

slipades ett ytskikt på 2,5 mm bort från provkroppens alla sidor, varefter provkroppens kloridinnehåll bestämdes i % av cementvikten (enligt SP-metod 0433). Cementmängden i betongen antas utgöra 15 viktprocent.

5.5.3 Kloridmigration

Migration definieras som jonrörelse under inverkan av ett yttre elektriskt fält, medan diffusion definieras som jonrörelse under inverkan av en koncentrationsgradient. Parallella provningar har visat att migrationskoefficienten bestämd enligt den aktuella metoden stämmer väl överens med diffusionskoefficienten bestämd enligt konventionell kloridinträngningstest. Principen för metoden är att en yttre elektrisk potential appliceras axiellt över provkroppen och tvingar kloridjonerna på utsidan att migrera in i provkroppen. Efter specificerad tid enligt standarden delas provkroppen axiellt och en silvernitratlösning sprayas på en av de färskta provytorna. Kloridernas inträngningsdjup kan därefter mätas upp med hjälp av den synliga vita fällningen av silverklorid, och kloridmigrationskoefficienten beräknas.

Cylindrar med diameter 100 mm borrades ut från betongkuber och 50 mm tjocka provkroppar sågades därefter ut, varvid 20 mm på varje sida av cylindern togs bort. Provkropparna vakuumbehandlades före provningens start.

5.5.4 Uttorkning

Provkroppar vattenlagrares och konditionerades därefter vid $21 \pm 2^\circ\text{C}$ och $60 \pm 10\%$ RF i 7 dygn. Tre provkroppar ytbehandlades när de uppnått ett visst fuktvillkor ($5,0 \pm 0,5\%$) i förhållande till provkroppar som torkats vid $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Efter ytterligare 2 dygn startades uttorkningsprocessen i ett klimatskåp vid högre temperatur ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) och lägre relativ fuktighet ($40 \pm 5\%$ RF). Uttorkningen bestämdes genom vägning av provkropparna. För obehandlade provkroppar genomfördes flera vägningar efter 6 till 24 timmar och för behandlade provkroppar efter 24 till 48 timmar. Uttorkningskoefficienten (DRC) bestämdes som förhållandet i procent mellan uttorkningshastigheten hos behandlad och obehandlad provkropp.

5.5.5 Vätskeabsorption

Vattenabsorption bestämdes före och efter lagring i alkalilösning. Absorptionskoefficienten bestämdes inledningsvis efter lagring i avjoniserat vatten, en timme för obehandlade provkroppar och 24 timmar för behandlade provkroppar. Därefter placerades de behandlade provkropparna i KOH-lösning i 21 dygn, och torkades sedan vid $21 \pm 2^\circ\text{C}$ och $60 \pm 10\%$ RF. Slutligen upprepade vattenlagringen och absorptionskoefficienten bestämdes ytterligare en gång. Absorptionskoefficienter anger förhållandet i procent mellan absorptionen hos behandlad och obehandlad provkropp.

5.5.6 Salt-frostbeständighet

Provkroppar vattenlagrares minst 28 dygn och konditionerades sedan vid $21 \pm 2^\circ\text{C}$ och $60 \pm 10\%$ RF i 60 dygn. Fyra provkroppar ytbehandlades och konditionerades därefter i ytterligare 14 dygn. Provkropparna, både behandlade och obehandlade, vägdes före och efter ett dygns exponering i 3 %-ig NaCl-lösning. Därefter startade den 50 cykler långa frostprovningen i saltlösningen. Provkropparna vägdes vart femte dygn. Viktförändring till följd av avflagnings bestämdes under provningens gång.



Foto 4: Fältexponering vid Riksväg 40 i Borås.

5.6.1 Märkning av provkroppar som exponerades vid Riksväg 40

	0.45 SKB	0.45	0.70	Ref.	Ref.
Fuktupptagning	H-SKB-DC1	H-45-DC1	H-70-DC1	H-SKB-R1	H-70-R1
H humidity	H-SKB-DC2	H-45-DC2	H-70-DC2	H-SKB-R2	H-70-R2
DC Dow Corning	H-SKB-DC3	H-45-DC3	H-70-DC3	H-SKB-R3	H-70-R3
HG Sto	H-SKB-HG1	H-45-HG1	H-70-HG1	H-45-R1	
	H-SKB-HG2	H-45-HG2	H-70-HG2	H-45-R2	
	H-SKB-HG3	H-45-HG3	H-70-HG3	H-45-R3	
Kloridinträngning	C-SKB-DC1	C-45-DC1	C-70-DC1	C-SKB-R1	C-70-R1
C klorid	C-SKB-DC2	C-45-DC2	C-70-DC2	C-SKB-R2	C-70-R2
	C-SKB-DC3	C-45-DC3	C-70-DC3	C-SKB-R3	C-70-R3
	C-SKB-DC4	C-45-DC4	C-70-DC4	C-SKB-R4	C-70-R4
	C-SKB-HG1	C-45-HG1	C-70-HG1	C-45-R1	
	C-SKB-HG2	C-45-HG2	C-70-HG2	C-45-R2	
	C-SKB-HG3	C-45-HG3	C-70-HG3	C-45-R3	
	C-SKB-HG4	C-45-HG4	C-70-HG4	C-45-R4	
Karbonatisering	K-SKB-DC1	K-45-DC1	K-70-DC1	K-SKB-R1	K-70-R1
K karbonatiserin	K-SKB-DC2	K-45-DC2	K-70-DC2	K-SKB-R2	K-70-R2
	K-SKB-DC3	K-45-DC3	K-70-DC3	K-SKB-R3	K-70-R3
	K-SKB-DC4	K-45-DC4	K-70-DC4	K-SKB-R4	K-70-R4
	K-SKB-DC5	K-45-DC5	K-70-DC5	K-SKB-R5	K-70-R5
	K-SKB-DC6	K-45-DC6	K-70-DC6	K-SKB-R6	K-70-R6
		K-45-DC7	K-70-DC7		K-70-R7
		K-45-DC8	K-70-DC8		K-70-R8
	K-SKB-HG1	K-45-HG1	K-70-HG1		K-45-R1

	K-SKB-HG2	K-45-HG2	K-70-HG2		K-45-R2
	K-SKB-HG3	K-45-HG3	K-70-HG3		K-45-R3
	K-SKB-HG4	K-45-HG4	K-70-HG4		K-45-R4
	K-SKB-HG5	K-45-HG5	K-70-HG5		de från fukt
	K-SKB-HG6	K-45-HG6	K-70-HG6		kan
		K-45-HG7	K-70-HG7		användas
		K-45-HG8	K-70-HG8		här
Salt frost	F-SKB-DC1	F-45-DC1	F-70-DC1	F-SKB-R1	F-70-R1
F	F-SKB-DC2	F-45-DC2	F-70-DC2	F-SKB-R2	F-70-R2
	F-SKB-DC3	F-45-DC3	F-70-DC3	F-SKB-R3	F-70-R3
	F-SKB-DC4	F-45-DC4	F-70-DC4	F-SKB-R4	F-70-R4
	F-SKB-HG1	F-45-HG1	F-70-HG1	F-45-R1	
	F-SKB-HG2	F-45-HG2	F-70-HG2	F-45-R2	
	F-SKB-HG3	F-45-HG3	F-70-HG3	F-45-R3	
	F-SKB-HG4	F-45-HG4	F-70-HG4	F-45-R4	
Inblandad luft (L)		K-45L-DC1	K-45L-HG1		
		K-45L-DC2	K-45L-HG2		
		K-45L-DC3	K-45L-HG3		
		K-45L-DC4	K-45L-HG4		

Provkroppsbezeichnungar: DC – Dow Corning silan i vätskefas; HG – STO silan i form av gel blandad med bentonitlera; H- fukt; C – klorid; K- karbonatisering; F-frost; SKB – självkompakterande betong; 45 – vct 0.45; 45L – vct 0.45 med tillsats av luft; 70 – vct 0.70; R- referens

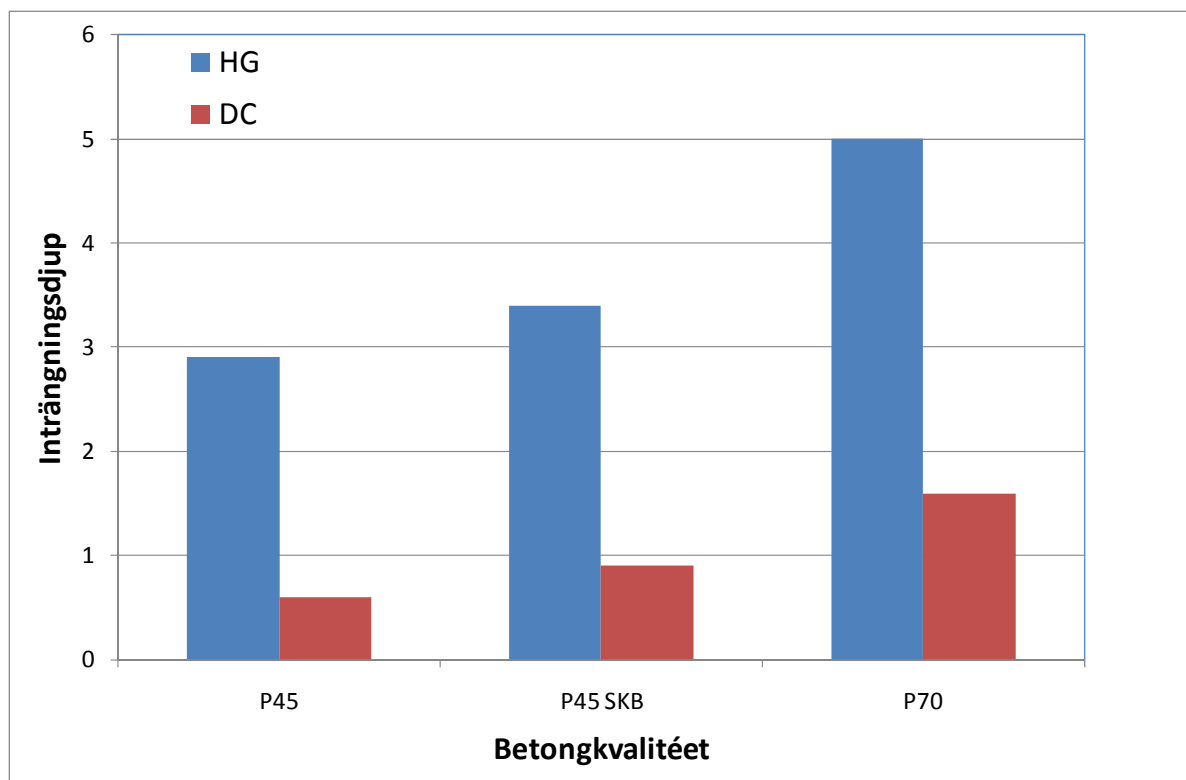
6 Resultat

I avsnitten nedan sammanfattas resultaten från laboratorieprovning och provning efter fältexponering. För fullständiga resultatprotokoll hänvisas till bifogade bilagor.

6.1 Inträngningsdjup

Erhållna resultat för inträngningsdjup (medelvärden) framgår av figur 6 som också visar att ytbehandlingspreparat HG (gel) ger avsevärt bättre inträngning än DC (vätska). Inträngningsdjupet varierar emellertid mycket för en och samma provkropp (se Bilaga 2).

Vid provning enligt SS EN 1504-2 på betong med vct 0,70 (motsvarande P 70 i figur 6) delas inträngningsdjupen in i klasserna I (< 10 mm) och II (≥ 10 mm). I standarden ingår inga krav på hur djupt ytbehandlingen ska tränga in i betongen. Båda ytbehandlingspreparaten hamnar enligt SS EN 1504-2 således i klass I.

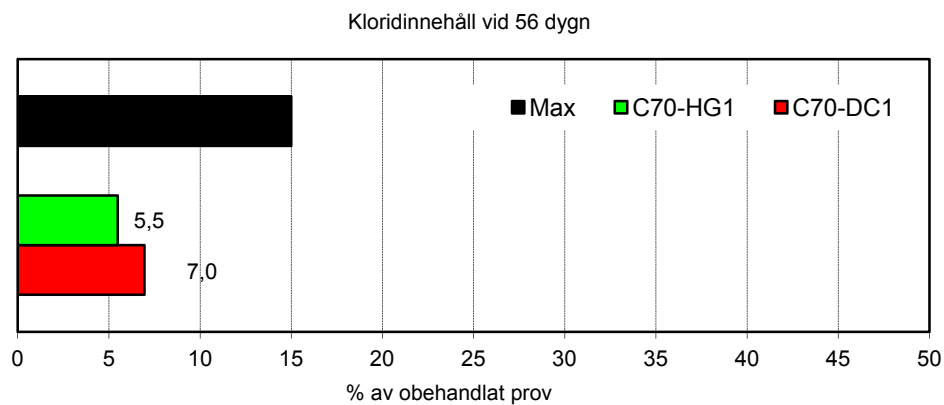
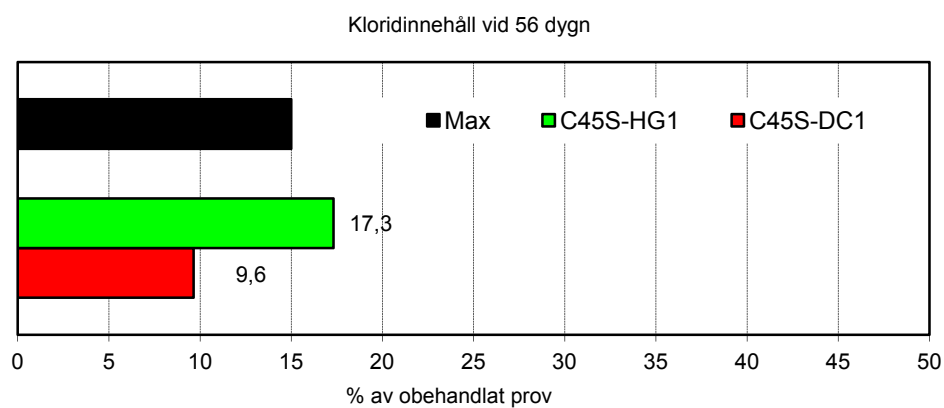
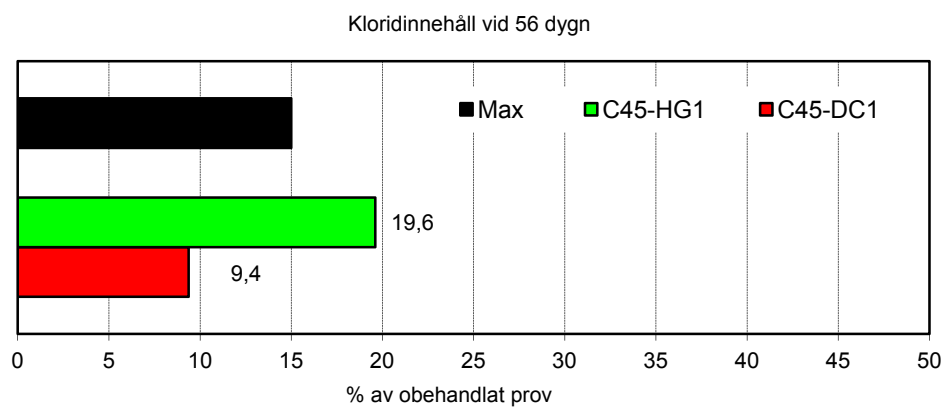


Figur 6. Medelvärden av inträngningsdjup i [mm] för två ytbehandlingsprodukter på tre betongkvaliteter.

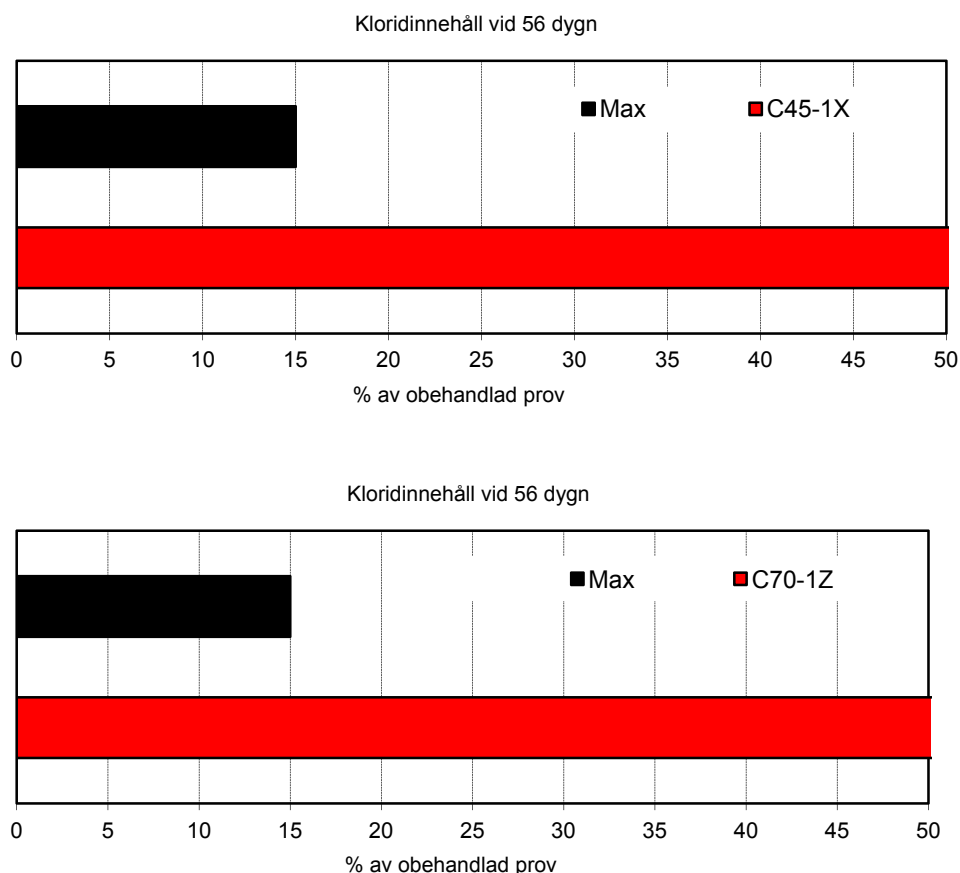
6.2 Kloridinträngning vid laboratorielagring

Kloridinträngning/-halt för laboratorielagrade provkroppar efter 56 dygn i 15 %-ig NaCl-lösning framgår av diagrammen (ett för varje typ av betong) i figur 7. Kloridhalten redovisas i procent av kloridhalt för motsvarande referensprov (obehandlade provkroppar). Kloridhalten i behandlad/impregnerad provkropp får enligt Trafikverkets specifikation för impregneringsmedel på betong inte överstiga 15 % av motsvarande värde för obehandlad provkropp (svart stapel i diagrammen). Av figuren framgår att detta krav är uppfyllt för DC i kombination med samtliga tre betongtyper, men däremot inte för HG som ytbehandling på de två tätare typerna av betong. Både HG och DC uppfyller således kravet för betong med vct 0,70.

Figur 8 visar motsvarande resultat med förkarbonatisering som ytbehandlingsåtgärd. Resultaten indikerar att förkarbonatiseringen inte haft någon skyddande inverkan mot kloridinträngning.



Figur 7: Kloridinnehåll i ytbehandlade provkroppar efter laboratorielagring 56 dygn i 15 %-ig NaCl-lösning. Övre diagrammet: betong med vct 0,45. Mellersta diagrammet: SKB med vct 0,45. Undre diagrammet: betong med vct 0,70.



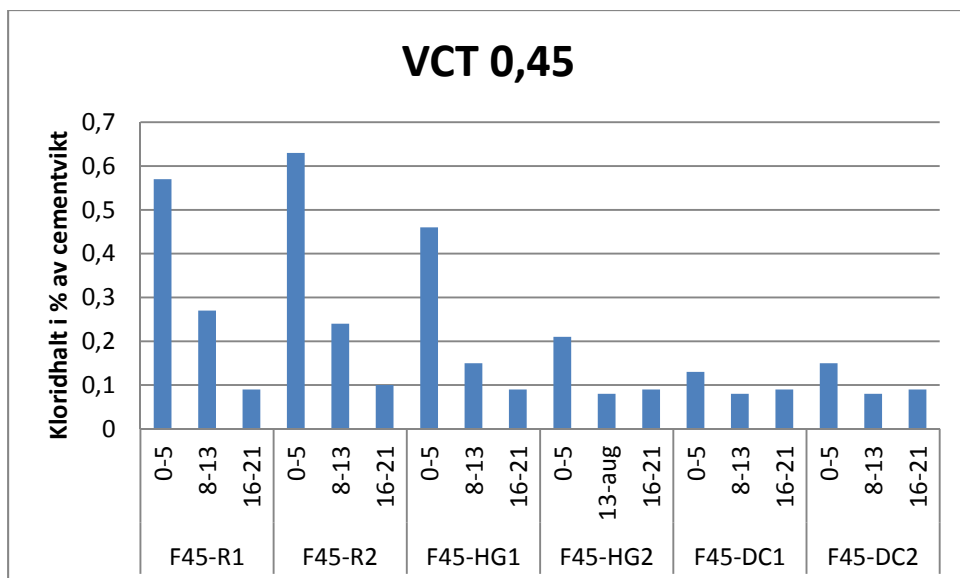
Figur 8: Kloridinhåll i förkarbonatiserade provkroppar efter laboratorielagring 56 dygn i 15 %-ig NaCl-lösning. Övre diagrammet: betong med vct 0,45. Undre diagrammet: betong med vct 0,70.

Samtliga resultat redovisas i Bilaga 3.

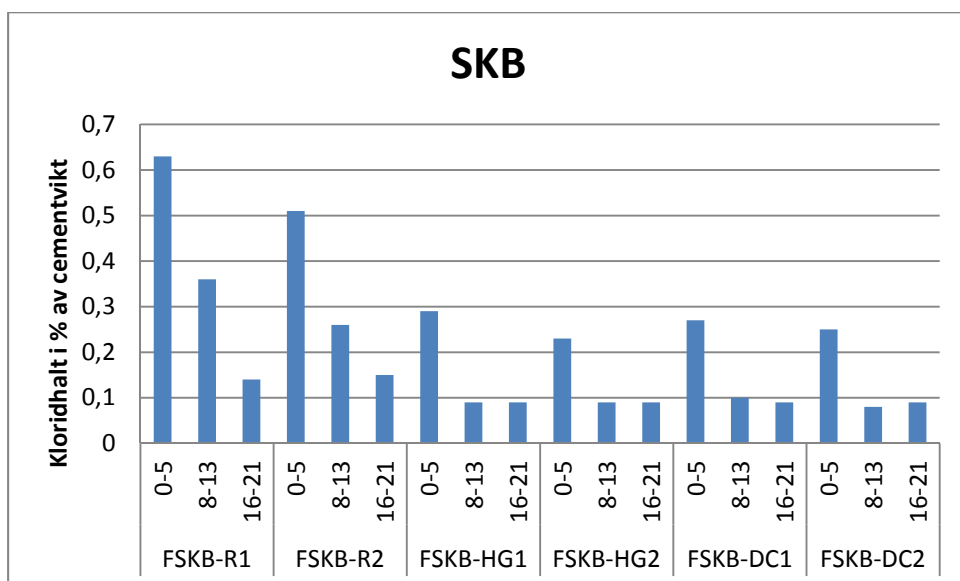
6.3 Kloridinträngning vid fältexponering

Kloridinträngningen för fältexponerade provkroppar har bestämts på tre olika djup i betongen (0-5 mm, 8-13 mm samt 16-21 mm) efter ca 23 månaders exponering. I figurerna 9-11 visas medelvärden för kloridkoncentrationen på dessa djup för två provkroppar av varje typ/kombination.

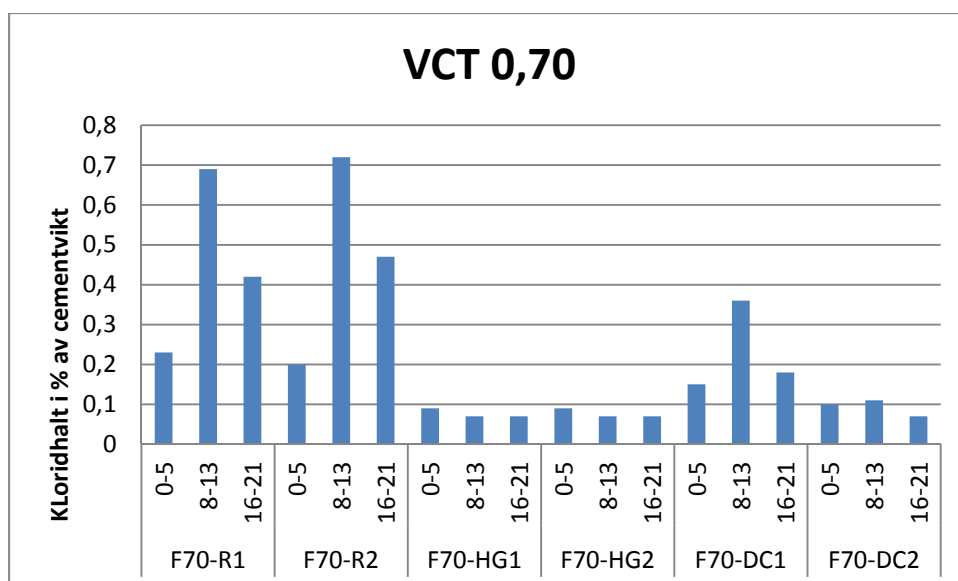
Resultaten visar att både HG och DC har haft en markant effekt på kloridinträngningen. För de två betongkvalitéerna med vct 0,45 har ytbehandlingen inneburit en reducering av kloridinträngningen med cirka 2/3 jämfört med referensen (figurerna 9 och 10). För betongen med vct 0,70 är reduktionen ännu större (figur 11). I figur 11 syns även den välbekanta effekt som ibland uppstår för obehandlad betong när en ytlig ursköljning av regn och skvätt från bilar resulterar i en högre kloridkoncentration några millimeter in från ytan. HG uppvisar något större positiv effekt än DC för betongen med vct 0,70.



Figur 9. Kloridkoncentrationen på tre olika djup för fältexponerade provkroppar med vct 0,45.



Figur 10. Kloridkoncentrationen på tre olika djup för fältexponerade provkroppar av självkompakterande betong med vct 0,45.

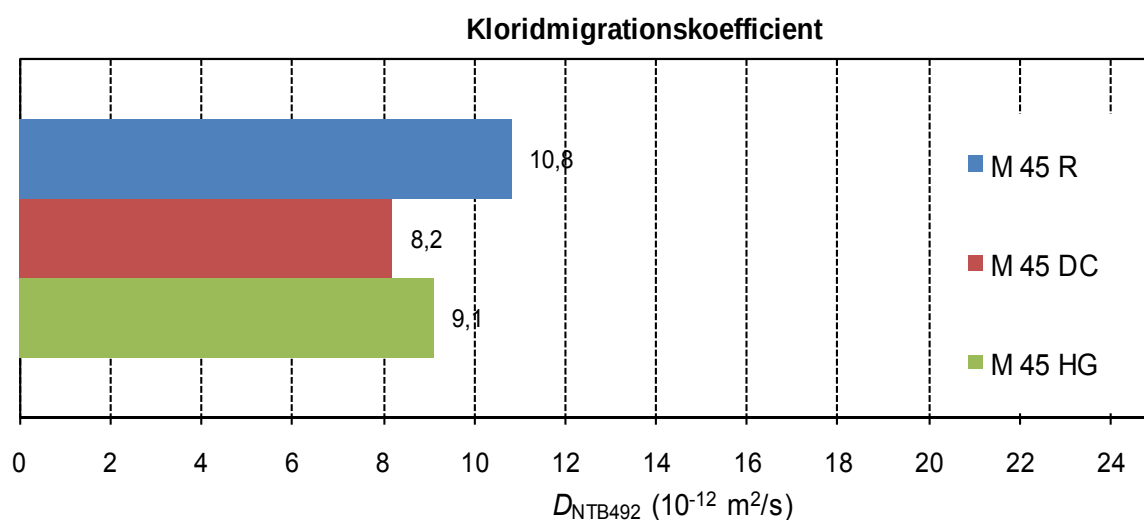


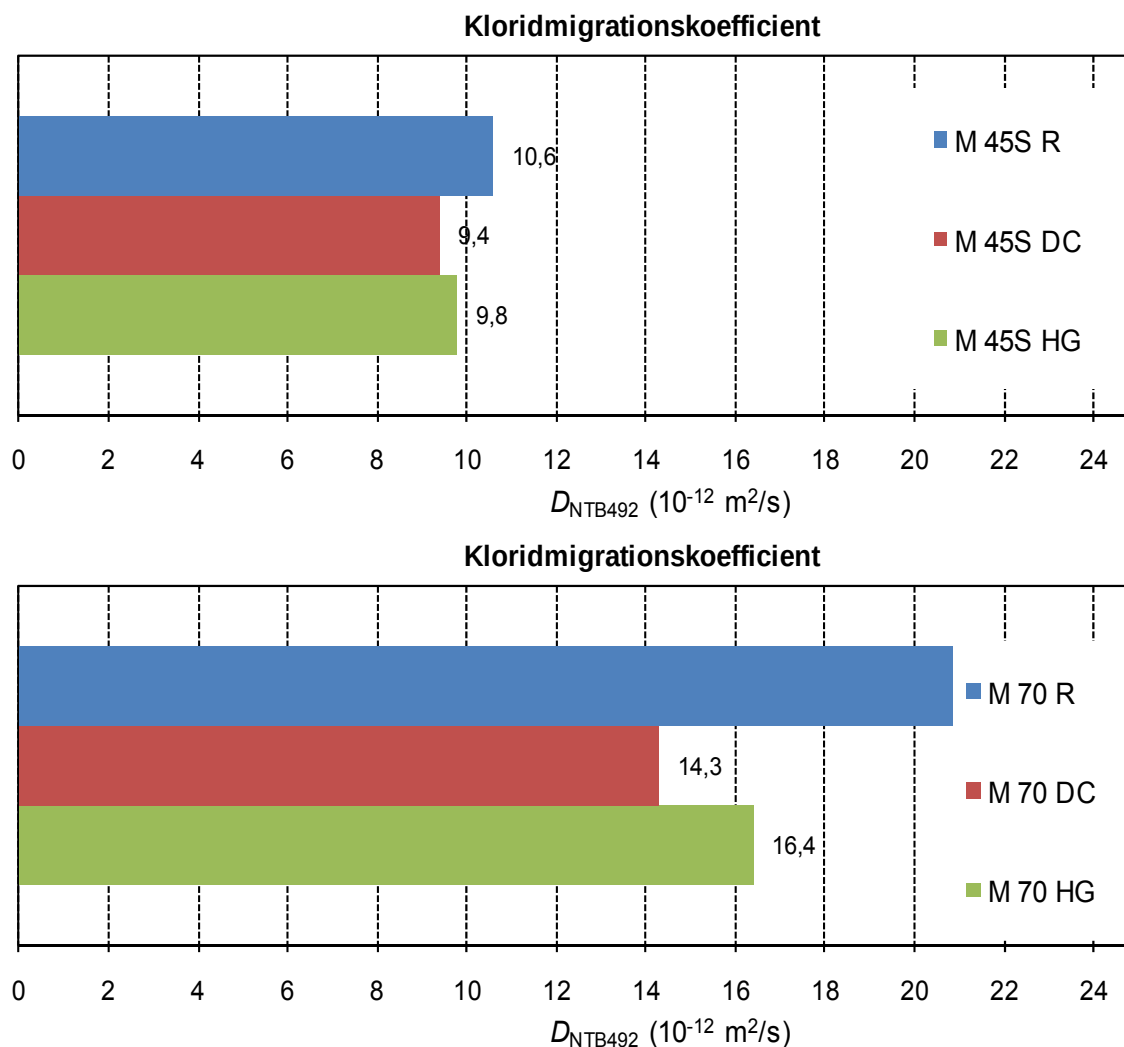
Figur 11. Kloridkoncentrationen på tre olika djup för fältexponerade provkroppar med vct 0,70.

6.4 Kloridmigration

Figur 12 visar resultaten från migrationsförsöken. Impregneringarna har haft en viss reducerande effekt på kloridmigrationskoefficienten för samtliga betongtyper. Störst är effekten för betongen med vct 0,70 och mindre för de två tätare typerna med vct 0,45. Skillnaden mellan de två ytbehandlingspreparaten är liten.

Metodikens lämplighet kan emellertid ifrågasättas för provning av silanimpregneringar. Det är vidare svårt att sätta resultaten i relation till andra provningar eftersom provningen är accelererad, med en pålagd spänning som drivkraft.



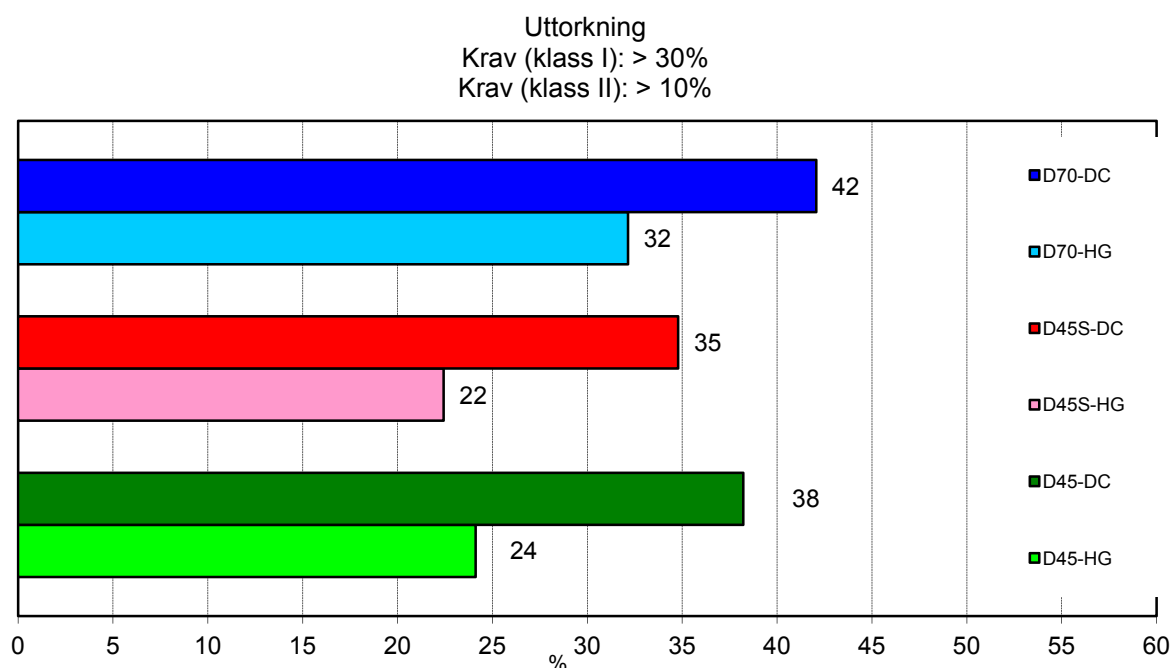


Figur 12: Migrationskoefficienter (M enligt NT Build 492) för ytbehandlade provkroppar. Övre diagrammet: betong med vct 0,45. Mellersta diagrammet: SKB med vct 0,45. Undre diagrammet: betong med vct 0,70.

6.5 Uttorkning

Resultat från uttorkningsförsöken presenteras i figur 13 som visar att uttorkningskoefficienten varierar mellan 22 och 42 % samt att DC ger en snabbare uttorkning än HG för samtliga betongkvaliteter.

Enligt EN 1504-2 indelas impregneringsmedel i två klasser med avseende på uttorkningskoefficient, klass I för >30 % och klass II för > 10 %. Preparat inom klass I ger således en snabbare uttorkning än preparat inom klass II.



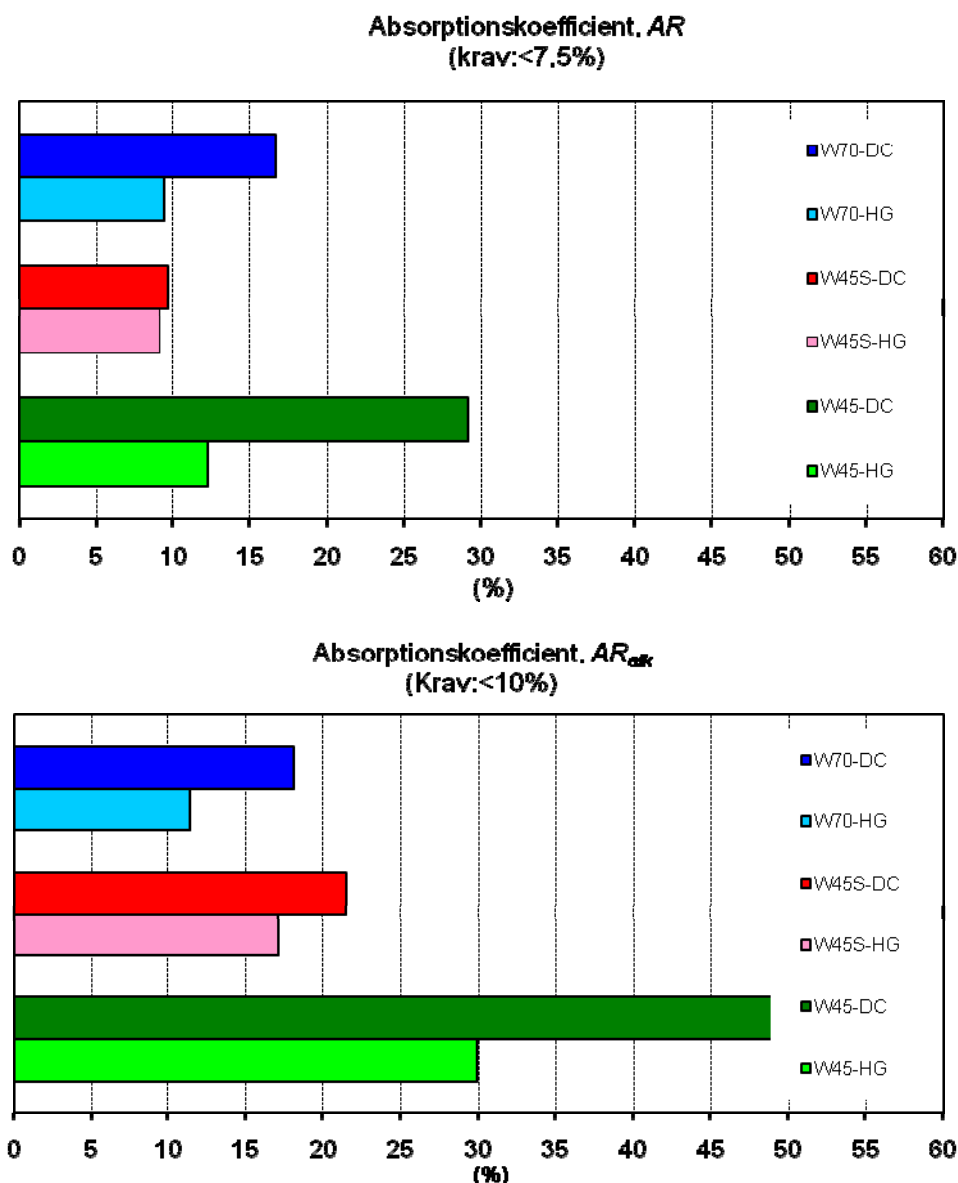
Figur 13: Uttorkningskoefficienter för ytbehandlade provkroppar.

6.6 Vätskeabsorption

Resultaten från absorptionsförsöken presenteras i figur 14.

Övre delen av figuren visar absorptionskoefficienten AR , d.v.s. vattenabsorptionen för behandlad provkropp jämfört med obehandlad provkropp. Resultaten ligger här mellan cirka 8 och 28 %. Enligt EN 1504-2 ska AR vara mindre än 7,5 % för ett godkänt impregneringsmedel. Varken HG eller DC når upp till detta krav. HG uppvisar något större positiv effekt än DC för samtliga betongkvaliteter. Det bör emellertid påpekas att vattenabsorptionen är så pass liten för de undersökta provkropparna (se Bilaga 4) att även ytavtorkningen precis innan vägningen kan ha påverkat.

Nedre delen av figur 14 visar AR_{alk} , d.v.s. vattenabsorptionen för behandlad och alkaliexponerad provkropp jämfört med obehandlad provkropp. Resultaten ligger mellan cirka 13 och 50 %. Enligt EN 1504-2 ligger kravet vid denna typ av provning på < 10 % (för betong med vct 0,45).



Figur 14: Absorptionskoefficienter för ytbehandlade provkroppar.

6.7 Salt-frostbeständighet

Provningen utfördes för fyra betongkvaliteter (vct 0,45; vct 0,45 med luft; SKB och vct 0,70) samt för provkroppar som hade förkarbonatiserats på laboratoriet (för att undersöka om karbonatiseringen kunde fungera som ett skyddande lager mot frostavflagning). Resultat från provningarna redovisas som diagram i figur 15.

Enligt EN 1504-2 krävs att viktförlust på ytbehandlad provkropp uppstår minst 20 cykler senare än för obehandlad provkropp. Här avses betong med vct 0,45.

Både DC och HG klarar kravet på frostbeständighet (utom för betong med tillsats av luft och för SKB). Störst effekt mot frostavflagning erhålls med HG på betong med vct 0,70 (Foto 6).

För betong med tillsats av luft är avflagningen försumbar efter 50 cykler och provningen/kravet därmed inte relevant.

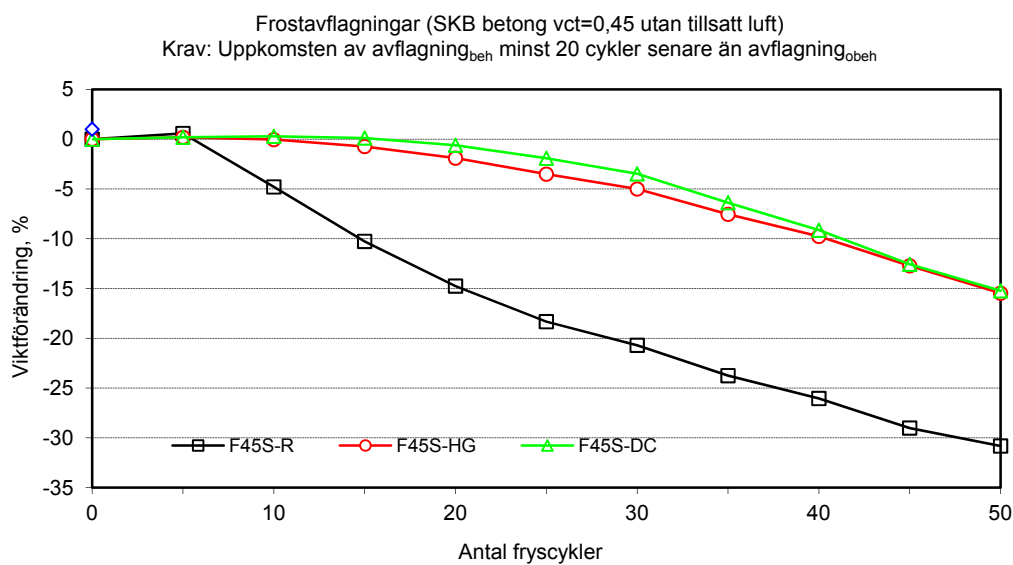
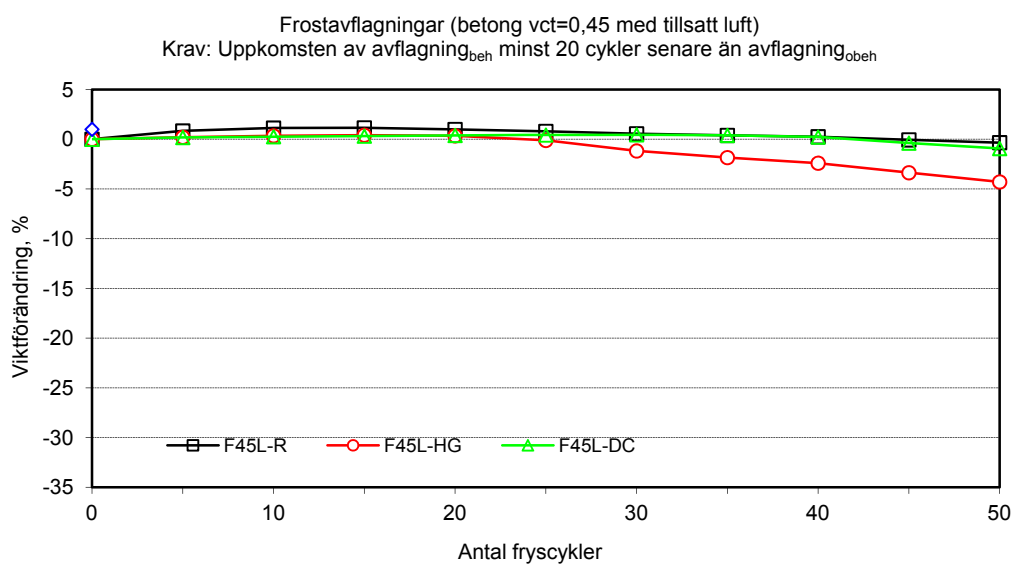
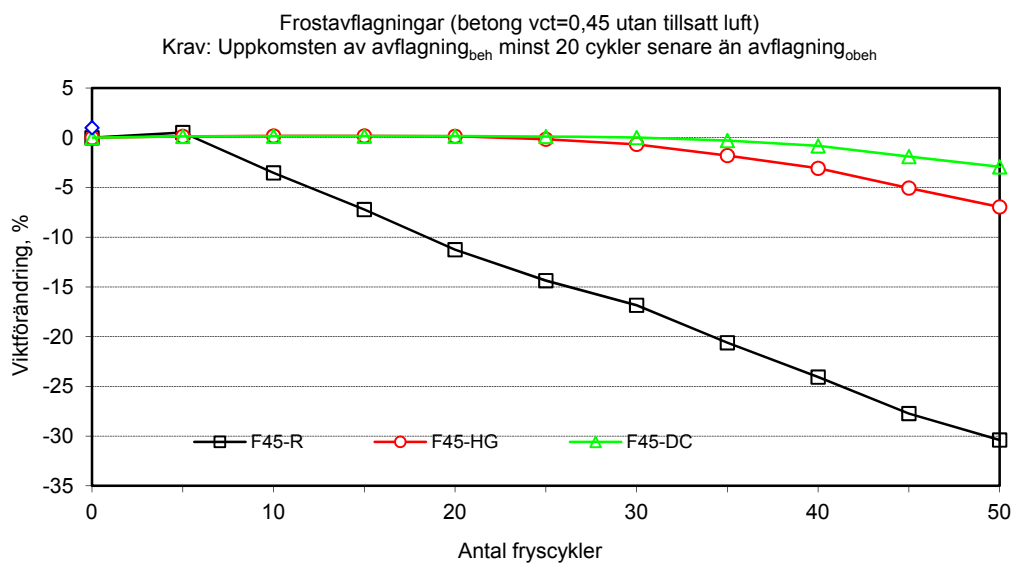
Metoden har flera osäkerheter. Man väger provkroppen och inte avflagningen vilket kan ha betydelse för den verkliga effekten av impregneringsmedlet på frostresistensen. Förkarbonatiseringen har inte haft någon positiv effekt på frostbeständigheten. Karbonatiserad betong med högt vct kollapsar nästan direkt i frostprovningen (det understa diagrammet i figur 15 och Foto 7).

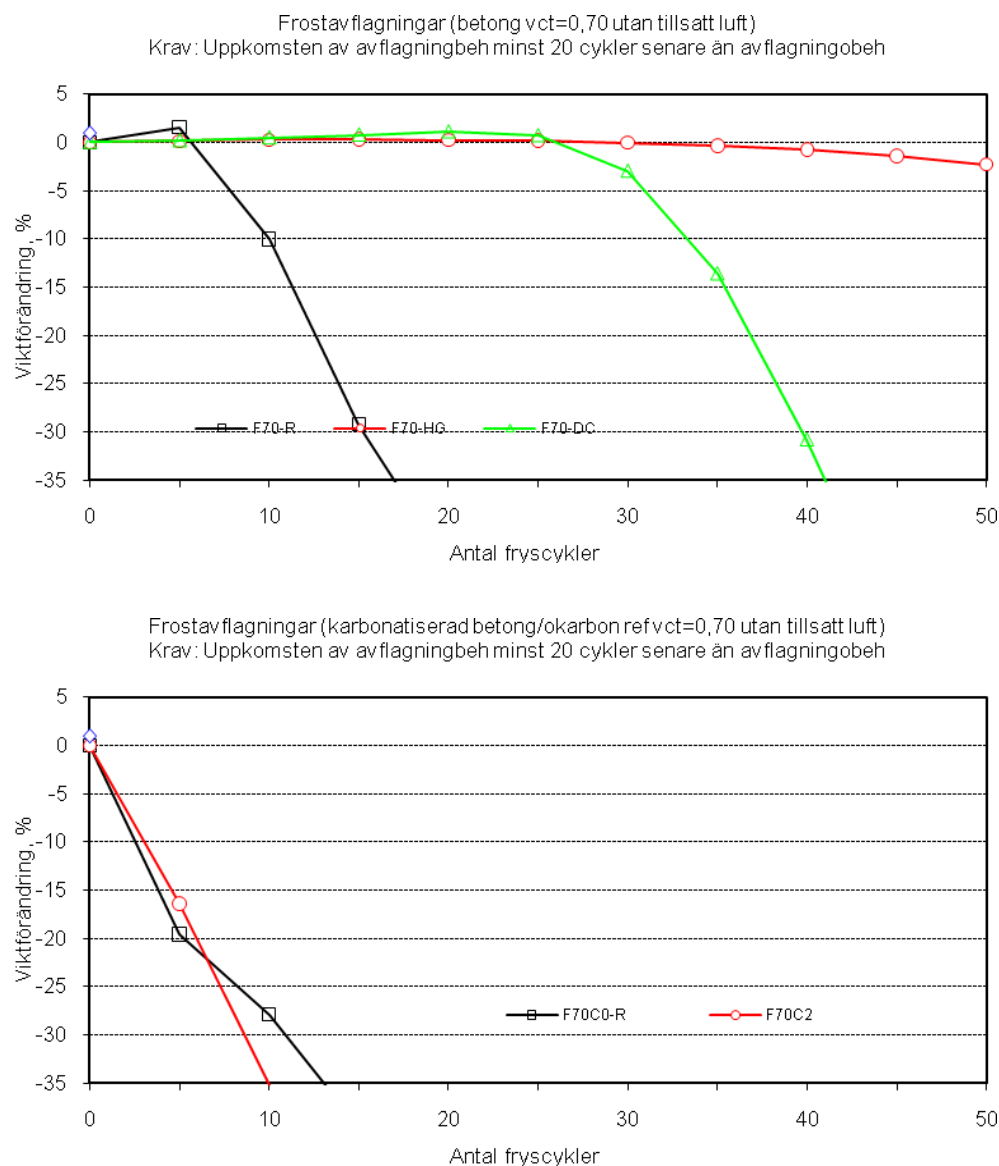


Foto 6: Resultat efter salt-frostprovning (vct 0.70). Fotona till vänster visar provkroppar impregnerade med HG och fotona till höger referensprover.



Foto 7: Resultat efter salt-frostprovning för förkarbonatiserade provkroppar.



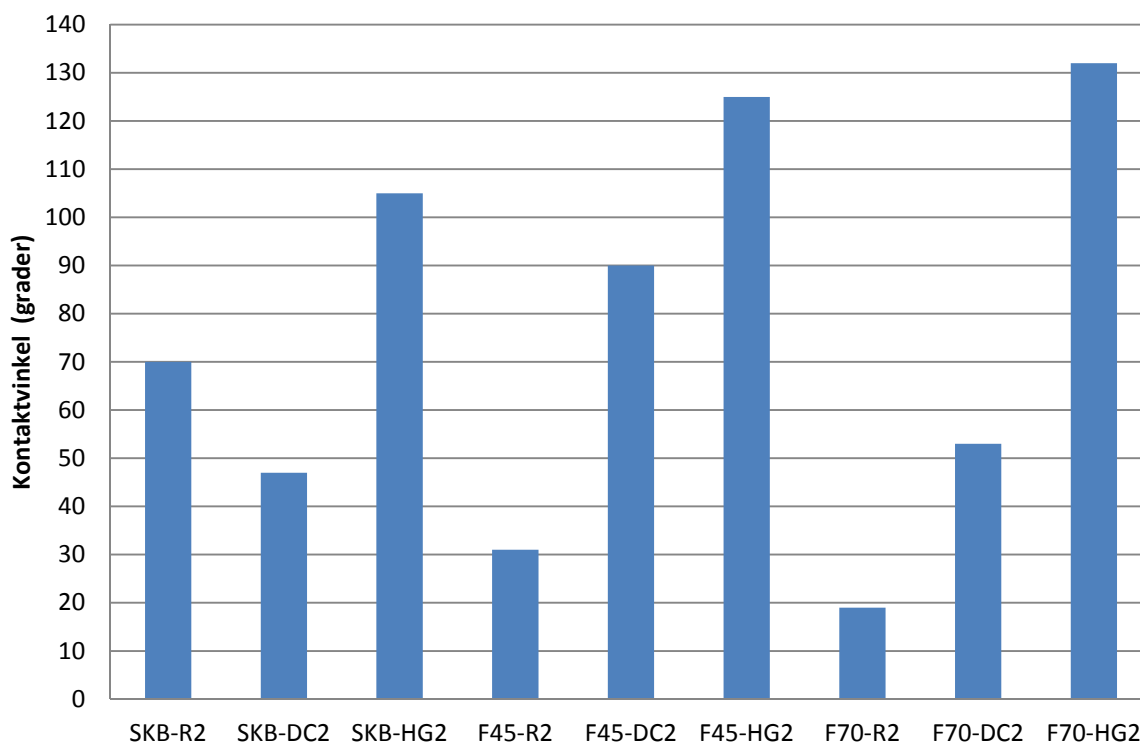


Figur 15: Resultat från salt-frostprovnigen.

6.8 Kontaktvinkel

Resultat från mätning av kontaktvinkel för vattendroppar på betongprovkroppar efter ca 2 års fältexponering presenteras i figur 16 för SKB, betong med vct 0,45 och betong med vct 0,70. Mätningarna visar om en yta är hydrofob ($> 90^\circ$) eller hydrofil ($< 90^\circ$).

Samtliga referensprovkroppar ligger under 90° , d.v.s. är hydrofila. Betong impregnerad med HG är hydrofob, vilket indikerar att impregneringen har varit väderbeständig under exponeringstiden. Betong impregnerad med DC har däremot förlorat sin hydrofobicitet, utom möjligen i fallet vct 0,45 där kontaktvinkeln ligger precis på gränsen (90°).



Figur 16: Kontaktvinkelmätningar för provkroppar som fältexponerats i ca 2 år.

7 Diskussion

Inledningsvis i projektet listades fyra frågor att besvara.

1. Har den naturliga förtätningen av ytan hos självkompakterande betong, betong med lägre vct och betong med filler bestående av fint material en skyddande effekt mot kloridinträngning och salt-frostpåverkan?

Självkompakterande betong, betong med lägre vct och betong med filler bestående av fint material ger en tätare struktur. Effekten av den strukturella förtätningen av ytan har emellertid inte studerats mer ingående. Senare års forskning har visat att betongytan för vanlig obehandlad brobetong med tiden även får en markant förtätning av porstrukturen på grund av karbonatisering, och att detta skulle leda till att ytan får ett naturligt skydd mot inträngning av klorider och fukt samt bättre salt-frostbeständighet.

Baserat på hitintills genomförda provningar inom detta projekt verkar det som om effekten är obefintlig. Ytterligare provning av långtidsexponerade provkroppar i fält kan eventuellt ändra på denna preliminära slutsats. Ett antal provkroppar kommer att lämnas kvar i fält för vidare exponering och studier.

2. Hur påverkas kloridinträngning och salt-frostbeständighet av ytbehandling på olika typer av betong?

Effekten av en silanimpregnering hänger samman med koncentration och inträngningsdjup. Dessa bestäms i sin tur av hur mycket tillgängligt utrymme som finns i porsystemet, d.v.s. porositet och fuktnivå samt hur mycket impregneringsmedel som hinner tas upp vid behandlingen. Trots att ett relativt litet inträngningsdjup uppnåts för ytbehandlingspreparaten

i projektet förefaller impregneringen ha i huvudsak god effekt på både kloridintränging och salt-frostbeständighet. Detta indikerar att även en ytlig impregnering kan fungera som skydd mot klorider och frostavflagning genom att vatteninträngningen förhindras och därmed ingen transport av klorider kan ske. Vid undersökningen av hydrofobicitet, genom mätning av kontaktvinkel på fältexponerade provkroppar, konstateras skillnader i väderbeständighet hos de undersökta provkropparna. DC-behandlade provytor har förlorat sin vattenavvisande förmåga, medan HG-behandlade ytor förblivit hydrofoba. Kontaktvinkelmätning kan desutom ses som ett lämpligt test på hur väderbeständig en ytbehandling är.

3. Förhindrar ytbehandlingen de positiva effekterna av den naturliga förtätningen av ytan?

Ingen tydlig effekt av karbonatisering mot kloridinträngning eller frostavskalning har kunnat påvisas hitintills i projektet (jämför fråga 1). Ett antal provkroppar kommer att lämnas kvar i fält för vidare exponering och studier.

4. Leder olika ytbehandlingsmedel till olika resultat med avseende på den skyddande effekten när det gäller kloridinträngning, karbonatisering och salt-frostbeständighet?

Avgörande för effekten av en ytbehandling är framförallt den mängd aktiv substans som tränger in i betongen. HG innehåller ett förtjockningsmedel och kan därför vara att föredra om betongen är fuktig eller tät. Förtjockningsmedlet gör det möjligt för betongen att suga in impregneringsmedlet under en längre period, och ger därmed bättre förutsättningar för den aktiva substansen att tränga in i tillräcklig mängd. HG uppvisade i projektet bättre/djupare inträngning än DC, men resultaten från laboratorieprovningarna skiljer sig ändå inte särskilt mycket. För fältexponerade provkroppar, konstateras däremot skillnader i väderbeständighet (jämför fråga 2) vilket kan ha betydelse för hur länge en impregnering fungerar i praktiken.

8 Slutsatser

8.1 Litteraturgenomgång

De flesta skademekanismer i betong är relaterade till fuktnivån i konstruktionen. En impregnering ändrar förutsättningarna för transport av fukt och kan därmed påverka hur fort skadeförloppet går. Det är viktigt att veta vilken skademekanism som är verksam, hur den påverkas av en förändrad fuktnivå och/eller fukttransport samt att veta var fukten kommer ifrån innan impregneringen utförs.

En förutsättning för att kunna utnyttja impregneringens positiva egenskaper är att medlet tränger tillräckligt långt in i konstruktionen. Stannar impregneringen på ytan kan effekten avta relativt snabbt. De tre viktigaste faktorerna för alla impregneringsmedels inträngning i betong är betongens porositet, betongens fuktnivå vid impregneringstillfället och kontakttiden mellan betong och impregneringsmedel. Hög porositet, låg fuktnivå och lång kontakttid ger bättre förutsättningar för att få ett stort inträngningsdjup. Med kontakttid avses här den tid betongkonstruktionens yta kan kapillärsuga impregneringsmedlet. De tre ovan nämnda faktorerna kan sammanfattas som tillgängligt utrymme och tiden att fylla detta. Porositeten avgör hur stort detta utrymme är, fuktnivån hur mycket av utrymmet som är tillgängligt och kontakttiden hur mycket av det tillgängliga utrymmet som hinner behandlas. Vilket

inträngningsdjup och koncentration som krävs för att få en god effekt varierar med vilken betongkvalitet som används och vad den är utsatt för.

En viktig aspekt när det gäller beständigheten är livslängden hos impregneringen. Flera försök till accelererade metoder har gjorts men hur väl de speglar verkligheten är svårt att säga. Några faktorer som påverkar impregneringen över tid är däremot kända. Damm och smuts som hamnar på ytan tar relativt snabbt bort den pärlande (vattenavvisande = hydrofoba) effekten på ytan. UV-ljus har en nedbrytande effekt och nötning påverkar impregneringen lika mycket som betongen. Dessa faktorer påverkar dock endast det allra yttersta lagret vilket innebär att funktionen kan finnas kvar även om den pärlande effekten avtagit. Detta visar hur viktigt det är att impregneringen når ett visst djup innanför ytan. Det finns exempel på behandlingar i Sverige som efter 15 år fortfarande fungerar mycket bra och det finns exempel där behandlingar misslyckats och effekten upphört efter bara ett år. Förklaringen till denna spridning ligger i de allra flesta fall vid impregneringstillfället. Hög fuktnivå eller för kort behandlingstid är de vanligaste orsakerna till att behandlingen givit ett mindre bra resultat.

8.2 Laboratorieprovningar

Ingen av de båda impregneringspreparaten som ingår i studien klarade samtliga krav enligt SS-EN 1504-2 för hydrofob impregnering på betong. Effekten av impregneringen på frostbeständighet och kloridinträngning var trots detta tydlig.

- Inträngningsdjup: Båda produkterna är silanbaserade, men uppvisar olika inträngningsdjup. HG ger, oberoende av betongkvalitet, avsevärt bättre inträngning än DC. HG som är en gel appliceras i större mängd (500 g/m^2) och kräver längre inträngningstid än DC (300 g/m^2) som är en vätska. Provning enligt SS-EN 1504-2 genomförs på betong med vct 0,70. För nya konstruktioner används emellertid som regel betong med lägre vct än 0,70 och gelprodukter kan därför vara att föredra för större inträngningsdjup.
- Kloridinträngning: Båda impregneringarna ger också ett gott skydd mot kloridinträngning, d.v.s. uppfyller Trafikverkets krav vid provning på betong med vct 0,70. För övriga tätare betongkvaliteter (med vct 0,45) ger DC, trots mindre inträngningsdjup, ett mer effektivt skydd mot kloridinträngning än HG. Detta kan till del förklaras med att HG innehåller bentonitlera som kan fungera som ett absorptionsmedel för klorider. Förkarbonatisering ger ingen skyddande effekt mot kloridinträngning.
- Kloridmigration: Båda impregneringar reducerar i någon mån kloridmigrationen.
- Uttorkning: Impregnering med DC ger snabbare uttorkning än impregnering med HG. Störst är uttorkningen för betong med vct 0,70 vilket kan förklaras med högre porositet som främjar uttorkning.
- Vätskeabsorption: Varken HG eller DC når upp till specificerade krav enligt SS EN 1504-2, men impregnering med HG uppvisar något större positiv effekt än DC för samtliga betongkvaliteter. Metodiken kan emellertid ifrågasättas, speciellt för tätare betongkvaliteter. Vattenabsorptionen vid provningens genomförande är t.ex. så pass liten för de undersökta provkropparna att även ytavtorkningen strax före vägning kan ha utgjort en felkälla. Metoden innehåller dessutom ett antal otydligheter som bör ses

över. Man jämför t.ex. resultat mellan referensprov som vattenlagrats 1 timme och impregnerade prov som vattenlagrats 24 timmar. Jämförelsen borde ske efter samma lagringstid. Formeln för beräkning av absorptionskoefficient i EN 1504-2 är tidsberoende och kan ha en negativ inverkan på tolkningen av resultat.

- Salt-frostprovning: Båda impregneringarna når upp till specificerade krav enligt SS EN 1504-2, för betong med vct 0,45 såväl som för betong med vct 0,70. För betong med tillsats av luft är avflagningen försumbar efter specificerat antal cykler och provningen/kravet därmed inte relevant. Förkarbonatisering av provkroppar uppvisar ingen bromsande effekt på salt-frost-avflagningen.
- Kontaktvinkel: Mätningar av kontaktvinkel på fältexponerade provkroppar visar sig kunna ge värdefull information om hydrofobicitet (vattenavvisande förmåga) och väderbeständighet. Impregnering med HG uppvisar en tydlig vattenavvisande effekt och väderbeständighet efter ca 2 års fältexponering, medan impregnering med DC förlorat sin vattenavvisande förmåga efter samma exponeringstid.

8.3 Fältexponering

Resultat från fältexponering i studien visar på en markant reduktion av klorider för impregnerade provkroppar, trots impregneringens förhållandevis lilla inträngningsdjup. Reduktionen omfattar samtliga ingående betongkvaliteter efter ett års exponering. Effekten över längre tid är ännu inte utvärderad varför det är svårt att dra några slutsatser om impregneringens livslängd i denna studie. I många fall är det tät och fuktig betong som impregneras i praktiken och stora inträngningsdjup med kraftigt reducerad kloridinträngning är ofta svårt att få till stånd på till exempel en nyproducerad kantbalk med lågt vct.

9 Rekommendationer

De nedan nämnda rekommendationerna baseras på denna provning, litteraturgenomgången och samlade erfarenheter på CBI betonginstitutet.

- Erfarenheterna av silanimpregneringar för att reducera fuktupptagning och kloridtransport är mycket goda. Det är i många situationer svårt att uppnå de önskade inträngningsdjupen men även ett begränsat inträngningsdjup ger en god effekt. Upprepade behandlingar eller användande av förtjockare ger bättre förutsättningar för att nå önskat resultat.
- I de flesta situationer är fuktnivån den faktor som avgör hur stor mängd aktiv substans som tränger in och hur djupt. Att fastställa hur hög fuktnivå som är acceptabel för en modern brobetong och utveckla ett tillförlitligt sätt att mäta den innan applicering är ett sätt att maximera chanserna att uppnå ett bra resultat.
- I BRO 2004 fanns ett krav på 2 mm i inträngningsdjup. I TK BRO hänvisas endast till SS EN- 1504-2 vilket endast är ett produktkrav. Ett utförandekrav är något som bör användas för att säkerställa att impregneringen faktiskt tränger in i betongen och inte bara lägger sig på ytan. Ett givet inträngningsdjup som i BRO 2004 är ett alternativ vilket dock baseras på en subjektiv bedömning och det är i många fall svårt att göra

mätningen. Ett annat alternativ är arbeta med koncentrationskrav vid ett visst djup med hjälp av FTIR. Metoden används i Tyskland men är inte omnämnd i någon standard ännu. Metoden är lite mer tidskrävande men det är en objektiv metod där det är lättare att ställa och verifiera ett specifikt krav.

- Det är inte motiverat att testa frostresistans på betong med lufttillsats.
- Kontaktvinkelmätningar borde användas för att kontrollera vattenavvisande effekt på en betongyta. Beständighetstester typ fältexponering borde rekommenderas för att undersöka väderbeständighet hos impregneringar. Resultaten från studien har visat att ett av de två undersökta medlen förlorade vattenavvisande egenskaper efter 1.5 års exponering i fält. Det görs inga tester idag för att undersöka vattenavvisande förmåga hos en betong efter hydrofoberingsbehandling.

9.1 Referenser

Andrews-Phaedonos, F., (1994) "Rehabilitation and Subsequent Monitoring of Sawtells Inlet Bridge, South Gippsland Highway, Tooradin, Victoria". Proceedings, 17th ARRB Conference, August 14-19, 1994, Gold Cost, Queensland, Australia, Volume 4, pp. 11-27.

Arkles, B. (1977) "Tailoring surfaces with silanes". Chemtech December, Vol. 7, pp. 766-778.

Bofeldt, M., (2001) "Inverkan av RH, vct och absorptionstid på inträngningsdjup för impregnerad betong". Examensarbete nr 165, brobyggnad, institutionen för byggkonstruktion, KTH, Stockholm.

Bofeldt, M., & Nyman, B., (2001) "Inträngningsdjup för impregneringsmedel på betong". Tidskriften Bygg & teknik, nr 7/01, s. 29-31.

BRO 94. "Allmän teknisk beskrivning för broar. Del 7, Brounderhåll". Publikation nr 1994:7, Vägverket, Borlänge, 1994, 47 s.

Buttner T. and Raupach M. (2008), "Durability of Hydrophobic Treatments on Concrete – Results from Laboratory Tests", Proceedings, 5th International Conference on Water Repellent materials, Aedificatio Publishers, Freiburg, sid 329-340.

De Clercq, H., De Witte, E., (2001) "Reactivity of silicon based water repellent agents at different application conditions" Internationale Zeitschrift für Baueninstandsetzen und Baudenkmalpflege, 7. Jahrgang, Heft 1, pp. 63-78

EN 13579: 2002 "Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures – Test Methods – Drying Test for Hydrophobic Impregnation".

EN 13580: 2002 "Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures – Test Methods – Water Absorption and Resistance to Alkali for Hydrophobic Impregnations".

EN 13581: 2002 “Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures – Test Methods – Determination of Loss of Mass of Hydrophobic Impregnated Concrete after Freeze-Thaw Salt Stress”.

EN 1504-2: 2004 “Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity. Surface protection systems for concrete.”

Gerdes, A., (2005) ”Preventive Surface Protection of Concrete Structures”. Proceedings of the International Workshop on Service Life of Concrete Structures. Sapporo, Japan, Feb. pp. 31-40.

Gerdes, A. H., (2001) ”Transport und chemische Reaktion siliciumorganischer Verbindungen in der Betonrandzone”. PhD-Thesis, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Schweiz, 220 p.

Gerdes A. and Wittmann F. H. (2001), Decisive Factors for the Penetration of Silicon-organic Compounds into Surface near Zones of Concrete, , Proceedings, 3rd international Conference on Surface Technology with Water Repellent Agents, Aedificatio Publishers, Freiburg, sid. 111-122.

Hankvist K. and Karlsson F. (2001), Gel Impregnation of Concrete – Theoretical Results and practical Experiences, , Proceedings, 3rd international Conference on Surface Technology with Water Repellent Agents, Aedificatio Publishers, Freiburg, sid. 93-110.

Hurley, S.A., (2001) ”The British Experience of Impregnation and Surface Treatment of Concrete”. Sammanfattningar, Betongreparationsdagen 2001, Rebet, CBI, Stockholm, 30 s.

Johansson, A., Janz, M., Silfwerbrand, J., & Trägårdh, J., (2005) ”Impregnation of Concrete Structures – Introduction to a Ph.D. Project”. Proceedings, Hydrophobe IV - the 4th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials. Stockholm, Sweden, April 12-13, pp. 59-68.

Johansson, A., Janz, M., Silfwerbrand, J., & Trägårdh, J., (2006) ”Moisture Transport in Impregnated Concrete – Moisture Diffusion Coefficient, Modelling, Measurements and Verification”, International Journal on Restoration of Buildings and Monuments, Vol. 12, No. 1, pp. 13-24.

Johansson, A., Janz, M., Silfwerbrand, J., & Trägårdh, J., (2007) ”Penetration Depth for Water repellent Agents in Concrete as a Function of Humidity, Porosity and Time”, Int. J. Restoration of Buildings and Monuments, Vol. 13, No. 1, pp. 3-16.

Johansson, A., Janz, M., Silfwerbrand, J., & Trägårdh, J., (2008) ”Long Term Performance of Water Repellent Treatment-Water Absorption Tests of Field Objects in Stockholm”, Int. J. Restoration of Buildings and Monuments, Vol. 14, No. 1, pp. 39-47.

Johansson A., Nyman B. and Silfwerbrand J. (2008), Decreasing Humidity in Concrete Facades after Water Repellent Treatments, Proceedings, 5th International Conference on Water Repellent materials, Aedificatio Publishers, Freiburg, sid 379-386.

- Johansson, L., (1993) "Ytbehandling av betongkonstruktioner utomhus". CBI rapport nr 4:93, Cement och Betong Institutet, Stockholm, 197 s.
- Karlsson, F., (1997) "Skyddsbehandling av betong mot salt och vatten". Tidskriften Betong, nr 3/97, s. 10-13.
- León, A., & Nyman, B., (2001) "Effektiviteten hos utförda impregneringar". Tidskriften Bygg & teknik, nr 7/01, s. 34-36.
- Meier S.J. and Wittmann F.H. (2001), Influence of Concrete Quality, its Age and Moisture Content, on the penetration Depth of Water Repellent Agents, Proceedings, 3rd international Conference on Surface Technology with Water Repellent Agents, Aedificatio Publishers, Freiburg, sid. 123-132.
- Nyman, B., (1998) "Klotter på betongytor". Tidskriften Betong, nr 1/98, s. 8-11.
- Olsson, M., & Sjödin, J., (2002) "Impregneringens inverkan på fuktprofilen, kloridinträngningen och frostbeständigheten i självkompakterande betong". Examensarbete nr 182, brobyggnad, institutionen för byggvetenskap, KTH, Stockholm.
- Osterholtz, F. D., Pohl, E. R., (1992): "Kinetics of the hydrolysis and condensation of organofunctional alkoxy-silanes: a review" Journal of Adhesion Science. Vol. 6, No. 1, pp. 127-149.
- Plueddemann, E. P., (1991) "Silane Coupling Agents-Second Edition" Plenum Press, New York, ISBN 0-306-43473-3
- Powell, B.D., Weyers, R.E., Cady, P.D., & Al-Qadi, I.L., (1993) "Field Service Life Performance of Deep Polymer Impregnation as a Method for Protecting Bridge Decks from Corrosion". Transportation Research Record, No. 1392, pp. 117-125.
- Sadouki H. and Wittman F. H. (1998) "Influence of Water Repellent Treatment on Drying of Concrete", Proceedings, Hydrophobe II- Second International Conference on Water Repellent Treatment of Building, F. H. Wittman pp.177-188, Aedificatio Publishers, Freiburg
- Shuere L., Van Gemert D., Friedel M. and Giessler-Blank S. (2008), "Durability of Water Repellents in a Marine Environment", Proceedings, 5th International Conference on Water Repellent materials, Aedificatio Publishers, Freiburg, sid 357-366.
- Selander, A., (2009) "Vattenavvisande impregnering förlänger livslängden på betongkonstruktioner." Bygg & Teknik, No 7, pp. 41-44.
- Selander, A., (2010), "Hydrophobic Impregnation of Concrete Structures – Effects on Concrete Properties", Doctoral-thesis, TRITA-BKN Bulletin No. 104, Chair of Structural Design and Bridges, Department of Structural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- Silfwerbrand, J., (2002) "Aktivt brönderhåll – en förstudie". Rapport nr 65, brobyggnad, byggkonstruktion, institutionen för byggvetenskap, KTH, 65 s.

Silfwerbrand, J., (2006) "Impregnation – An Efficient Method of Active Bridge Maintenance", *International Journal on Restoration of Buildings and Monuments*, Vol. 12, No. 1, pp. 3-12.

Silfwerbrand, J., (2008), "Impregnation of Concrete Bridge Elements Exposed to Severe Environment-Is it cost effective?" *Proceedings, 5th International Conference on Water Repellent materials*, Aedificatio Publishers, Freiburg, sid 341-353.

NT BUILD 492, (1999) "Concrete, Mortar, and Cement-based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-steady-state Migration Experiments." *Nordtest methods*.

Tang, L., (1996) "Electrically accelerated methods for determining chloride diffusivity in concrete current development", *Magazine of Concrete Research*, vol. 48, nr. 176, pp. 173-179.

Utgenannt, P. (2004) The influence of ageing on the salt-frost resistance of concrete, Doctoral-thesis, LTH.

Bilaga 1: Planering för provkroppstillverkning

Fältexponering med två ytbehandlingsmedel och referensprovkroppar.

FÄLT													
produkt	Salt- frostbeständighet			Karbonatisering			Klorid inträngning			Fuktupptagning			Total (+)
	0.7	0.45med luft	0.45 utan luft	0.7	0.45	SKB	0.7	0.45	SKB	0.7	0.45	SKB	
Referens-provkroppar	4	4	4	8	8	4	4	4	4	3	3	3	70
ytbehandling 1	4	4	4	8	8	4	4	4	4	3	3	3	70
ytbehandling 2	4	4	4	8	8	4	4	4	4	3	3	3	70

Laboratorieprovning med två ytbehandlingsmedel och referensprovkroppar.

LAB													
produkt	Salt- frostbeständighet			Karbonatisering			Klorid inträngning			Fuktupptagning			Total (+)
	0.7	0.45med luft	0.45 utan luft	0.7	0.45	SKB	0.7	0.45	SKB	0.7	0.45	SKB	
Referens-provkroppar	4	4	4	8	8	4	2	2	2	3	3	3	67
ytbehandling 1	4	4	4	8	8	4	2	2	2	3	3	3	67
ytbehandling 2	4	4	4	8	8	4	2	2	2	3	3	3	67

Bilaga 2: Inträngningsdjup

Impregneringsdjup vct 0,45

2009-12-01 Start

2010-01-26 Avslut

sida	a=överyta														Medel Stdav	
Märkning	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d ₈	d ₉	d ₁₀	d ₁₁	d ₁₂	d _{min}	d _{max}		
P45-DC1	0,7	1,1	1,5	0,4	0,0	0,3	0,5	-	0,4	0,3	0,3	1,3	0,0	1,5	0,6	0,5
P45-DC2	0,8	2,1	2,6	1,5	0,4	0,6	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	-	0,0	2,6	0,8	0,9
P45-DC3	0,0	0,4	-	0,0	0,0	0,4	-	0,0	0,0	0,3	0,6	1,6	0,0	1,6	0,3	0,5
	10,0														0,6	0,6

	a														Medel Stdav	
Märkning	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d ₈	d ₉	d ₁₀	d ₁₁	d ₁₂	d _{min}	d _{max}		
P45-HG1	-	2,4	1,8	-	1,8	3,0	0,0	0,0	0,0	2,6	4,0	4,2	0,0	4,2	2,0	1,6
P45-HG2	2,8	3,1	4,4	4,1	4,6	4,5	1,8	0,0	2,6	3,0	3,6	3,9	0,0	4,6	3,2	1,3
P45-HG3	5,7	3,7	5,1	3,4	2,8	3,7	-	-	3,1	1,1	3,2	4,1	1,1	5,7	3,6	1,3
															2,9	1,4

Impregneringsdjup vct 0,45 SKB

	a														Medel Stdav	
Märkning	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d ₈	d ₉	d ₁₀	d ₁₁	d ₁₂	d _{min}	d _{max}		
P45S-DC1	1,7	0,9	0,9	1,5	0,0	0,0	0,5	0,5	1,0	0,6	0,0	0,6	0,0	1,7	0,7	0,6
P45S-DC2	0,7	0,8	1,6	1,1	1,1	0,9	1,1	2,6	1,6	1,0	1,0	0,9	0,7	2,6	1,2	0,5
P45S-DC3	-	0,5	0,7	1,0	-	0,6	0,6	0,0	0,8	0,8	1,7	0,9	0,0	1,7	0,8	0,4
															0,9	0,5

	a														Medel Stdav	
Märkning	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d ₈	d ₉	d ₁₀	d ₁₁	d ₁₂	d _{min}	d _{max}		
P45S-HG1	1,9	1,4	1,4	1,1	3,1	2,2	3,5	-	-	3,1	4,2	3,8	1,1	4,2	2,6	1,1
P45S-HG2	1,9	2,1	-	4,1	3,4	3,7	-	3,3	5,1	4,2	3,8	4,5	1,9	5,1	3,6	1,0
P45S-HG3	3,4	2,7	7,0	5,4	4,1	3,4	4,1	3,4	3,4	3,5	4,0	3,6	2,7	7,0	4,0	1,1
															3,4	1,1

Impregneringsdjup vct 0,70

Märkning	Medel Stdev																		
	a					b					c					d			
	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d ₈	d ₉	d ₁₀	d ₁₁	d ₁₂	d _{min}	d _{max}					
P70-DC1	2,1	2,4	2,2	2,9	-	1,0	3,0	1,4	0,3	0,8	-	2,4	0,3	3,0	1,9	0,9			
P70-DC2	2,6	2,7	3,1	2,1	0,8	0,0	0,0	0,7	0,0	1,5	1,7	1,8	0,0	3,1	1,4	1,1			
P70-DC3	2,1	3,2	3,1	1,3	0,8	-	0,0	0,0	0,0	1,7	2,3	2,6	0,0	3,2	1,6	1,2			
																1,6	1,1		

Märkning	Medel Stdev															
	a			b			c			d						
	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d ₈	d ₉	d ₁₀	d ₁₁	d ₁₂	d _{min}	d _{max}		
P70-HG1	9,4	8,5	8,3	6,2	3,6	4,7	0,4	0,0	0,0	8,5	8,4	8,2	0,0	9,4	5,5	3,7
P70-HG2	7,2	7,4	7,7	6,5	4,0	4,8	0,0	0,0	0,0	6,4	5,4	7,6	0,0	7,7	4,8	3,1
P70-HG3	10,2	7,1	4,8	4,7	5,7	6,1	0,0	-	3,0	5,9	0,0	5,6	0,0	10,2	4,8	3,0
	5,0 3,2															

Bilaga 3: Resultat från salt/frost provning

Frostbeständighet SS-EN 13581 vct=0,45

	Datum	REF	HG	DC
Gjutning	2008-11-10			
Antal	12	4	4	4
Luftkond. 21±2C, 60±10 RF	2009-02-05	Ref1-4	HG1-4	DC1-4
			30 g	18 g
Applicering	2009-04-09	C _n	F45-HG1	F45-DC1
21±2C, 60±10 RF			2389,67	2416,25
120 sek i vätska			2418,95	2421,34
			29,3	5,1
			F45-HG2	F45-DC2
			2405,13	2402,62
			2433,62	2407,73
			28,5	5,1
			F45-HG3	F45-DC3
			2379,87	2435,38
			2409,33	2440,28
			29,5	4,9
			F45-HG4	F45-DC4
			2414,51	2439,4
			2445,66	2444,55
			31,1	5,2
Vägning kl:	2009-04-22	W ₀	F45-R1	F45-HG1
placeras i 3% NaCl	11:45		F45-R2	F45-HG2
			F45-R3	F45-HG3
			F45-R4	F45-HG4
			2419,8	2396,5
			2397,1	2411,7
			2413,5	2386,2
			2424,7	2421,7
			2413,8	2404,1
				2423,9
Vägning, kl:	2009-04-23	W _e	F45-R1	F45-HG1
efter 24 h	11:15		F45-R2	F45-HG2
Start frost			F45-R3	F45-HG3
			F45-R4	F45-HG4
			2431,0	2397,7
			2408,3	2412,9
			2425,8	2387,5
			2436,5	2422,9
			2425,4	2405,2
				2425,2
		C _{abs}	%	0,5
				0,0
				0,1
Vägning, 5 c	2009-04-28	W ₅	F45-R1	F45-HG1
			F45-R2	F45-HG2
			F45-R3	F45-HG3
			F45-R4	F45-HG4
			2435,9	2400,1
			2408,1	2415,4
			2422,8	2389,6
			2438,6	2424,7
			2426,3	2407,5
				2427,3
		ΔW ₅ , %	0,5	0,1
				0,1
Vägning, 10 c	2009-05-03	W ₁₀	F45-R1	F45-HG1
			F45-R2	F45-HG2
			F45-R3	F45-HG3
			F45-R4	F45-HG4
			2356,4	2401,1
			2306,7	2416,1
			2315,4	2390,5
			2335,6	2425,5
			2328,5	2408,3
				2427,7
		ΔW ₁₀ , %	-3,5	0,2
				0,2
Vägning, 15 c	2009-05-08	W ₁₅	F45-R1	F45-HG1
			F45-R2	F45-HG2
			F45-R3	F45-HG3
			F45-R4	F45-HG4
			2262,1	2401,0
			2214,3	2416,0
			2241,2	2390,9
			2240,4	2425,8
				2421,2
				2404,5
				2441,4
				2444,3

				2239,5		2408,4	2427,8
		$\Delta W_{15}, \%$		-7,2		0,2	0,2
Vägning, 20 c	2009-05-13	W_{20} F45-R1	2162,2	F45-HG1	2399,7	F45-DC1	2422,3
		F45-R2	2127,7	F45-HG2	2414,8	F45-DC2	2401,4
		F45-R3	2133,7	F45-HG3	2390,6	F45-DC3	2442,4
		F45-R4	2144,8	F45-HG4	2425,5	F45-DC4	2445,1
			2142,1		2407,6		2427,8
		$\Delta W_{20}, \%$		-11,3		0,1	0,2
Vägning, 25 c	2009-05-18	W_{25} F45-R1	2080,7	F45-HG1	2391,5	F45-DC1	2422,9
		F45-R2	2039,5	F45-HG2	2404,5	F45-DC2	2395,9
		F45-R3	2060,2	F45-HG3	2384,2	F45-DC3	2442,9
		F45-R4	2087,0	F45-HG4	2421,5	F45-DC4	2445,8
			2066,9		2400,4		2426,9
		$\Delta W_{25}, \%$		-14,4		-0,2	0,1
Vägning, 30 c	2009-05-23	W_{30} F45-R1	2015,4	F45-HG1	2378,6	F45-DC1	2424,0
		F45-R2	1981,1	F45-HG2	2394,8	F45-DC2	2389,7
		F45-R3	1993,3	F45-HG3	2371,5	F45-DC3	2437,4
		F45-R4	2038,9	F45-HG4	2407,3	F45-DC4	2446,6
			2007,2		2388,1		2424,4
		$\Delta W_{30}, \%$		-16,8		-0,7	0,0
Vägning, 35 c	2009-05-28	W_{35} F45-R1	1931,5	F45-HG1	2355,5	F45-DC1	2425,2
		F45-R2	1892,3	F45-HG2	2365,2	F45-DC2	2377,0
		F45-R3	1893,1	F45-HG3	2341,2	F45-DC3	2422,7
		F45-R4	1947,7	F45-HG4	2381,9	F45-DC4	2443,4
			1916,2		2360,9		2417,1
		$\Delta W_{35}, \%$		-20,6		-1,8	-0,3
Vägning, 40 c	2009-06-02	W_{40} F45-R1	1833,3	F45-HG1	2320,9	F45-DC1	2422,0
		F45-R2	1810,7	F45-HG2	2329,9	F45-DC2	2357,2
		F45-R3	1812,1	F45-HG3	2313,4	F45-DC3	2399,2
		F45-R4	1875,4	F45-HG4	2356,4	F45-DC4	2437,8
			1832,9		2330,2		2404,0
		$\Delta W_{40}, \%$		-24,1		-3,1	-0,8
Vägning, 45 c	2009-06-07	W_{45} F45-R1	1768,4	F45-HG1	2270,7	F45-DC1	2412,1
		F45-R2	1720,1	F45-HG2	2270,3	F45-DC2	2330,8
		F45-R3	1685,9	F45-HG3	2270,1	F45-DC3	2341,0
		F45-R4	1803,3	F45-HG4	2318,6	F45-DC4	2428,5
			1744,4		2282,4		2378,1
		$\Delta W_{45}, \%$		-27,7		-5,1	-1,9
Vägning, 50 c	2009-06-12	W_{50} F45-R1	1709,6	F45-HG1	2216,1	F45-DC1	2402,1
		F45-R2	1650,9	F45-HG2	2221,0	F45-DC2	2317,7
		F45-R3	1607,4	F45-HG3	2233,8	F45-DC3	2274,8
		F45-R4	1753,0	F45-HG4	2276,2	F45-DC4	2417,1
			1680,2		2236,8		2352,9
			-30,4		-7,0		-2,9

Frostbeständighet SS-EN 13581 SKB vct=0,45

	Datum	REF	HG	DC
Gjutning	2008-11-10			
Antal	12	4	4	4
Luftkond.	2009-02-05	Ref1-4	HG1-4	DC1-4
21±2C, 60±10 RF				
			30 g	18 g
Applicering	2009-04-09	C _n	F45S-HG1	F45S-DC1
21±2C, 60±10 RF			2330,05	2359,81
120 sek i vätska			2350,31	2363,54
			20,3	3,7
			F45S-HG2	F45S-DC2
			2366,19	2371,42
			2388,44	2375,06
			22,3	3,6
			F45S-HG3	F45S-DC3
			2368,48	2382,53
			2390,37	2386,24
			21,9	3,7
			F45S-HG4	F45S-DC4
			2351,06	2370,45
			2373,03	2374,12
			22,0	3,7
Vägning kl:	2009-04-22	W ₀	F45S-R1	F45S-HG1
placeras i 3% NaCl	11:45		F45S-R2	F45S-HG2
			F45S-R3	F45S-HG3
			F45S-R4	F45S-HG4
			2353,8	2332,4
			2391,8	2370,6
			2352,7	2371,7
			2348,7	2354,3
			2361,7	2357,2
			2362,0	2333,9
			2399,7	2372,0
			2362,4	2373,0
			2355,8	2355,7
			2370,0	2358,6
			0,35	0,06
			0,35	0,06
Vägning, 5 c	2009-04-28	W ₅	F45S-R1	F45S-HG1
			F45S-R2	F45S-HG2
			F45S-R3	F45S-HG3
			F45S-R4	F45S-HG4
			2372,3	2337,3
			2399,6	2375,0
			2370,5	2376,1
			2358,5	2358,4
			2375,2	2361,7
			0,6	0,2
			0,6	0,2
Vägning, 10 c	2009-05-03	W ₁₀	F45S-R1	F45S-HG1
			F45S-R2	F45S-HG2
			F45S-R3	F45S-HG3
			F45S-R4	F45S-HG4
			2259,0	2331,8
			2266,5	2371,2
			2216,3	2369,8
			2252,3	2352,3
			2248,5	2356,3
			-4,8	0,0
			-4,8	0,0
Vägning, 15 c	2009-05-08	W ₁₅	F45S-R1	F45S-HG1
			F45S-R2	F45S-HG2
			F45S-R3	F45S-HG3
			F45S-R4	F45S-HG4
			2103,0	2314,7
			2140,7	2355,9
			2080,1	2352,4
			2153,1	2336,9
			2119,2	2340,0
			-10,3	-0,7
			-10,3	-0,7
Vägning, 20 c	2009-05-13	W ₂₀	F45S-R1	F45S-HG1
			F45S-R2	F45S-HG2
			1992,2	2281,3
			2032,3	2334,6
				2328,24
				2339,9

			F45S-R3	1971,2	F45S-HG3	2323,1	F45S-DC3	2388,6
			F45S-R4	2057,1	F45S-HG4	2310,3	F45S-DC4	2368,2
				2013,2		2312,3		2356,2
		$\Delta W_{20}, \%$		-14,8		-1,9		-0,6
Vägning, 25 c	2009-05-18	W_{25}	F45S-R1	1906,2	F45S-HG1	2238,6	F45S-DC1	2278,23
			F45S-R2	1946,6	F45S-HG2	2301,6	F45S-DC2	2297,9
			F45S-R3	1890,2	F45S-HG3	2289,5	F45S-DC3	2380,9
			F45S-R4	1972,0	F45S-HG4	2267,8	F45S-DC4	2344,2
				1928,8		2274,4		2325,3
		$\Delta W_{25}, \%$		-18,3		-3,5		-1,9
Vägning, 30 c	2009-05-23	W_{30}	F45S-R1	1851,3	F45S-HG1	2204,7	F45S-DC1	2224,95
			F45S-R2	1894,5	F45S-HG2	2267,2	F45S-DC2	2256,8
			F45S-R3	1836,2	F45S-HG3	2258,1	F45S-DC3	2359,0
			F45S-R4	1908,6	F45S-HG4	2227,0	F45S-DC4	2311,8
				1872,7		2239,2		2288,1
		$\Delta W_{30}, \%$		-20,7		-5,0		-3,5
Vägning, 35 c	2009-05-28	W_{35}	F45S-R1	1778,7	F45S-HG1	2140,1	F45S-DC1	2142,77
			F45S-R2	1825,2	F45S-HG2	2216,4	F45S-DC2	2180,0
			F45S-R3	1769,8	F45S-HG3	2200,4	F45S-DC3	2314,1
			F45S-R4	1828,9	F45S-HG4	2160,5	F45S-DC4	2240,8
				1800,6		2179,3		2219,4
		$\Delta W_{35}, \%$		-23,8		-7,5		-6,4
Vägning, 40 c	2009-06-02	W_{40}	F45S-R1	1713,4	F45S-HG1	2087,3	F45S-DC1	2076,05
			F45S-R2	1775,1	F45S-HG2	2164,5	F45S-DC2	2112,4
			F45S-R3	1724,1	F45S-HG3	2150,8	F45S-DC3	2258,9
			F45S-R4	1773,3	F45S-HG4	2105,4	F45S-DC4	2168,5
				1746,4		2127,0		2153,9
		$\Delta W_{40}, \%$		-26,1		-9,8		-9,1
Vägning, SKB c	2009-06-07	W_{SKB}	F45S-R1	1643,4	F45S-HG1	2022,3	F45S-DC1	1988,99
			F45S-R2	1726,5	F45S-HG2	2086,3	F45S-DC2	2019,8
			F45S-R3	1657,2	F45S-HG3	2095,3	F45S-DC3	2188,0
			F45S-R4	1678,3	F45S-HG4	2025,4	F45S-DC4	2093,7
				1676,3		2057,3		2072,6
		$\Delta W_{SKB}, \%$		-29,0		-12,7		-12,6
Vägning, 50 c	2009-06-12	W_{50}	F45S-R1	1578,1	F45S-HG1	1954,5	F45S-DC1	1921,27
			F45S-R2	1703,4	F45S-HG2	1998,0	F45S-DC2	1961,5
			F45S-R3	1614,8	F45S-HG3	2055,1	F45S-DC3	2121,5
			F45S-R4	1638,2	F45S-HG4	1962,1	F45S-DC4	2033,5
				1633,6		1992,4		2009,4
				-30,8		-15,5		-15,2

Frostbeständighet SS-EN 13581 vct=0,45 LUFT

	Datum	REF	HG	DC
Gjutning	2009-09-17			
Antal	12	4	4	4
Luftkond.	2009-10-14			
21±2C, 60±10 RF		Ref1-L4	HG1-L4	DC1-L4
			30 g	18 g

Applicering 21±2C, 60±10 RF 120 sek i vätska för varje sida	2009-11-30	C_n			F45L-HG1	2348,53 2379,63 31,1	F45L-DC1	2329,14 2336,28 7,1
					F45L-HG2	2347,91 2378,77 30,9	F45L-DC2	2323,9 2332,92 9,0
					F45L-HG3	2333,08 2363,27 30,2	F45L-DC3	2357,3 2365,34 8,0
					F45L-HG4	2323,06 2355,4 32,3	F45L-DC4	2308,29 2314,71 6,4
Vägning kl: placeras i 3% NaCl	2009-12-13	W_0	F45L-R1	2334,9	F45L-HG1	2355,1	F45L-DC1	2330,14
			F45L-R2	2347,5	F45L-HG2	2354,9	F45L-DC2	2325,2
			F45L-R3	2338,6	F45L-HG3	2339,5	F45L-DC3	2358,6
			F45L-R4	2341,1	F45L-HG4	2330,4	F45L-DC4	2309,5
				2340,5		2345,0		2330,9
Vägning, kl: efter 24 h Start frost	2009-12-14	W_e	F45L-R1	2337,9	F45L-HG1	2356,4	F45L-DC1	2331,58
			F45L-R2	2350,8	F45L-HG2	2356,3	F45L-DC2	2326,8
			F45L-R3	2341,2	F45L-HG3	2340,9	F45L-DC3	2360,0
			F45L-R4	2344,6	F45L-HG4	2331,9	F45L-DC4	2310,9
				2343,6		2346,3		2332,3
		C_{abs}	%	0,1		0,1		0,1
Vägning, 5 c	2009-12-19	W_5	F45L-R1	2354,5	F45L-HG1	2359,7	F45L-DC1	2334,62
			F45L-R2	2367,2	F45L-HG2	2359,8	F45L-DC2	2329,4
			F45L-R3	2357,0	F45L-HG3	2344,1	F45L-DC3	2362,8
			F45L-R4	2361,9	F45L-HG4	2335,3	F45L-DC4	2313,5
				2360,1		2349,7		2335,1
		$\Delta W_5, \%$		0,8		0,2		0,2
Vägning, 10 c	2009-12-24	W_{10}	F45L-R1	2361,2	F45L-HG1	2362,8	F45L-DC1	2336,6
			F45L-R2	2373,9	F45L-HG2	2363,3	F45L-DC2	2331,1
			F45L-R3	2364,6	F45L-HG3	2347,5	F45L-DC3	2364,7
			F45L-R4	2367,7	F45L-HG4	2338,7	F45L-DC4	2315,6
				2366,9		2353,1		2337,0
		$\Delta W_{10}, \%$		1,1		0,3		0,3

Vägning, 15 c	2009-12-29	W_{15}	F45L-R1	2361,9	F45L-HG1	2364,4	F45L-DC1	2337,8
			F45L-R2	2374,5	F45L-HG2	2364,7	F45L-DC2	2332,2
			F45L-R3	2365,0	F45L-HG3	2349,2	F45L-DC3	2366,1
			F45L-R4	2368,2	F45L-HG4	2340,3	F45L-DC4	2317,0
					2367,4		2354,7	
		$\Delta W_{15}, \%$	1,1		0,4		0,3	
Vägning, 20 c	2010-01-03	W_{20}	F45L-R1	2357,1	F45L-HG1	2363,1	F45L-DC1	2339,7
			F45L-R2	2370,8	F45L-HG2	2362,1	F45L-DC2	2333,4
			F45L-R3	2362,0	F45L-HG3	2347,7	F45L-DC3	2367,9
			F45L-R4	2364,6	F45L-HG4	2339,4	F45L-DC4	2318,7
					2363,6		2353,1	
		$\Delta W_{20}, \%$	1,0		0,3		0,4	
Vägning, 25 c	2010-01-08	W_{25}	F45L-R1	2351,8	F45L-HG1	2353,2	F45L-DC1	2341
			F45L-R2	2365,3	F45L-HG2	2349,8	F45L-DC2	2333,7
			F45L-R3	2358,0	F45L-HG3	2336,8	F45L-DC3	2368,9
			F45L-R4	2361,4	F45L-HG4	2329,4	F45L-DC4	2319,7
					2359,1		2342,3	
		$\Delta W_{25}, \%$	0,8		-0,1		0,4	
Vägning, 30 c	2010-01-13	W_{30}	F45L-R1	2346,2	F45L-HG1	2328,4	F45L-DC1	2341,7
			F45L-R2	2360,4	F45L-HG2	2327,4	F45L-DC2	2333,7
			F45L-R3	2353,0	F45L-HG3	2311,9	F45L-DC3	2369,5
			F45L-R4	2354,3	F45L-HG4	2302,1	F45L-DC4	2320,5
					2353,5		2317,5	
		$\Delta W_{30}, \%$	0,6		-1,2		0,5	
Vägning, 35 c	2010-01-18	W_{35}	F45L-R1	2343,0	F45L-HG1	2312,7	F45L-DC1	2340,5
			F45L-R2	2357,9	F45L-HG2	2310,9	F45L-DC2	2330,6
			F45L-R3	2348,8	F45L-HG3	2296,9	F45L-DC3	2368,3
			F45L-R4	2349,2	F45L-HG4	2286,8	F45L-DC4	2320,7
					2349,7		2301,8	
		$\Delta W_{35}, \%$	0,4		-1,8		0,4	
Vägning, 40 c	2010-01-23	W_{40}	F45L-R1	2338,4	F45L-HG1	2300,6	F45L-DC1	2337,4
			F45L-R2	2356,0	F45L-HG2	2296,3	F45L-DC2	2326,0
			F45L-R3	2345,6	F45L-HG3	2286,6	F45L-DC3	2363,5

Vägning, 45 c	2010-01-28	$\Delta W_{40}, \%$ W_{45}	F45L-R4	2345,9 2346,5	HG3 F45L- HG4	2271,0 2288,6	DC3 F45L- DC4	2317,4 2336,1
				0,3		-2,4		0,2
			F45L-R1	2329,5	F45L- HG1	2276,8	F45L- DC1	2324,2
			F45L-R2	2351,0	F45L- HG2	2278,8	F45L- DC2	2313,7
			F45L-R3	2337,5	F45L- HG3	2259,2	F45L- DC3	2348,1
			F45L-R4	2338,7 2339,2	F45L- HG4	2249,7 2266,1	F45L- DC4	2302,1 2322,0
				-0,1		-3,4		-0,4
			F45L-R1	2321,6	F45L- HG1	2257,1	F45L- DC1	2312,6
			F45L-R2	2343,9	F45L- HG2	2258,3	F45L- DC2	2301,2
			F45L-R3	2332,6	F45L- HG3	2234,5	F45L- DC3	2335,6
Vägning, 50 c	2010-02-02	$\Delta W_{45}, \%$ W_{50}	F45L-R4	2332,0 2332,5 -0,3	F45L- HG4	2227,8 2244,4 -4,3	F45L- DC4	2287,8 2309,3 -0,9
			F45L-R1	2321,6	F45L- HG1	2257,1	F45L- DC1	2312,6
			F45L-R2	2343,9	F45L- HG2	2258,3	F45L- DC2	2301,2
			F45L-R3	2332,6	F45L- HG3	2234,5	F45L- DC3	2335,6
			F45L-R4	2332,0	F45L- HG4	2227,8	F45L- DC4	2287,8

Frostbeständighet SS-EN 13581 vct=0,70

Datum		REF	HG	DC	
Gjutning	2009-09-17				
Antal	8	0	4	4	
Luftkond.	2009-10-14	Ref1-4	HG1-4	DC1-4	
21±2C, 60±10 RF					
			30 g	18 g	
Applicering	2009-11-30		F70-HG1	F70-DC1	
21±2C, 60±10 RF			2281,81 2323,82	2302,41 2314,96	
120 sek i vätska för varje sida			42,0	12,6	
			F70-HG2	F70-DC2	
			2308,96 2356,49	2324,93 2336,49	
			47,5	11,6	
			F70-HG3	F70-DC3	
			2313,97 2361,91	2317,84 2328,69	
			47,9	10,8	
			F70-HG4	F70-DC4	
			2283,99 2326,66	2330,84 2343,05	
			42,7	12,2	

Vägning kl: placeras i 3% NaCl	2009-12-13	W_0	F70-R1	2301,1	F70-HG1	2290,6	F70-DC1	2305,31
	KI 10:55		F70-R2	2329,8	F70-HG2	2321,0	F70-DC2	2327,3
			F70-R3	2340,6	F70-HG3	2326,0	F70-DC3	2319,6
			F70-R4	2320,2	F70-HG4	2293,8	F70-DC4	2333,6
				2322,9		2307,8		2321,4
Vägning, kl: efter 24 h Start frost	2009-12-14	W_e	F70-R1	2314,1	F70-HG1	2292,0	F70-DC1	2306,68
			F70-R2	2344,3	F70-HG2	2322,3	F70-DC2	2328,7
			F70-R3	2355,2	F70-HG3	2327,5	F70-DC3	2321,0
			F70-R4	2332,2	F70-HG4	2295,5	F70-DC4	2334,9
				2336,5		2309,3		2322,8
		C_{abs}	%	0,6		0,1		0,1
Vägning, 5 c	2009-12-19	W_5	F70-R1	2338,9	F70-HG1	2293,8	F70-DC1	2308,88
			F70-R2	2358,2	F70-HG2	2324,5	F70-DC2	2331,9
			F70-R3	2378,6	F70-HG3	2329,4	F70-DC3	2323,7
			F70-R4	2361,5	F70-HG4	2297,3	F70-DC4	2337,8
				2359,3		2311,2		2325,6
		$\Delta W_5, \%$		1,6		0,1		0,2
Vägning, 10 c	2009-12-24	W_{10}	F70-R1	2038,9	F70-HG1	2297,1	F70-DC1	2312,4
			F70-R2	2165,6	F70-HG2	2327,6	F70-DC2	2341,5
			F70-R3	2015,1	F70-HG3	2332,4	F70-DC3	2330,9
			F70-R4	2142,0	F70-HG4	2300,0	F70-DC4	2345,7
				2090,4		2314,3		2332,6
		$\Delta W_{10}, \%$		-10,0		0,3		0,5
Vägning, 15 c	2009-12-29	W_{15}	F70-R1	1563,4	F70-HG1	2298,0	F70-DC1	2316,1
			F70-R2	1746,0	F70-HG2	2328,0	F70-DC2	2349,6
			F70-R3	1613,9	F70-HG3	2332,7	F70-DC3	2339,4
			F70-R4	1654,4	F70-HG4	2301,6	F70-DC4	2353,1
				1644,4		2315,1		2339,6
		$\Delta W_{15}, \%$		-29,2		0,3		0,8
Vägning, 20 c			F70-R1	1234,2	F70-HG1	2296,6	F70-DC1	2320,4
			F70-R2	1318,6	F70-HG2	2325,0	F70-DC2	2357,3
			F70-R3	1373,9	F70-HG3	2330,8	F70-DC3	2348,6
			F70-R4	1297,3	F70-HG4	2300,3	F70-DC4	2361,1
				1306,0		2313,2		2346,9
		$\Delta W_{20}, \%$		-43,8		0,2		1,1
Vägning, 25 c	2010-01-08	W_{25}	F70-R1	1026,5	F70-HG1	2295,6	F70-DC1	2312,8
			F70-R2	1004,1	F70-HG2	2322,4	F70-DC2	2351,2
			F70-R3	1069,7	F70-HG3	2329,6	F70-DC3	2340,9
			F70-R4	1039,9	F70-HG4	2299,0	F70-DC4	2345,9
				1035,1		2311,7		2337,7
		$\Delta W_{25}, \%$		-55,4		0,2		0,7
Vägning, 30 c	2010-01-13	W_{30}	F70-R1	749,0	F70-HG1	2291,8	F70-DC1	2279,1
			F70-R2	798,8	F70-HG2	2315,6	F70-DC2	2279,2
			F70-R3	835,9	F70-HG3	2324,7	F70-DC3	2241,4

				F70-R4	897,3 820,3	F70-HG4	2295,0 2306,8	F70-DC4	2209,4 2252,3
		$\Delta W_{30},$ %			-64,7		0,0		-3,0
Vägning, 35 c	2010-01-18	W_{35}		F70-R1	547,3	F70-HG1	2284,8	F70-DC1	2149,5
				F70-R2	592,9	F70-HG2	2308,8	F70-DC2	2057,4
				F70-R3	632,1	F70-HG3	2317,1	F70-DC3	1799,1
				F70-R4	557,2	F70-HG4	2286,8	F70-DC4	2015,8
					582,4		2299,4		2005,5
		$\Delta W_{35},$ %			-74,9		-0,4		-13,6
Vägning, 40 c	2010-01-23	W_{40}		F70-R1		F70-HG1	2274,7	F70-DC1	2036,7
				F70-R2		F70-HG2	2300,8	F70-DC2	1550,3
				F70-R3		F70-HG3	2311,2	F70-DC3	1458,5
				F70-R4		F70-HG4	2276,4	F70-DC4	1380,4
					#####		2290,8		1606,5
		$\Delta W_{40},$ %			#####		-0,7		-30,8
Vägning, 45 c	2010-01-28	W_{45}		F70-R1		F70-HG1	2257,8	F70-DC1	1761,7
				F70-R2		F70-HG2	2284,9	F70-DC2	1031,9
				F70-R3		F70-HG3	2297,1	F70-DC3	1078,6
				F70-R4		F70-HG4	2259,5	F70-DC4	675,9
					#####		2274,8		1137,0
		$\Delta W_{45},$ %			#####		-1,4		-51,0
Vägning, 50 c	2010-02-02	W_{50}		F70-R1		F70-HG1	2238,3	F70-DC1	1479
				F70-R2		F70-HG2	2261,0	F70-DC2	548,6
				F70-R3		F70-HG3	2276,4	F70-DC3	543,3
				F70-R4		F70-HG4	2243,0	F70-DC4	80,9
					#####		2254,7		663,0
					#####		-2,3		-71,4

Frostbeständighet SS-EN 13581 vct=0,45 karbonatisering 70 d

	Datum		Okarbonatiserade	Karbonatiserade
Gjutning	2009-10-27			
Antal	8		4	4
Konditionering	2009-11-24		F45C0-R	
21±2C, 60±10 RF, 0% CO ₂				
Konditionering	2009-11-24			F45C2
21±2C, 60±10 RF, 2% CO ₂				
Vägning kl:	2010-02-01	W_0	F45C0-R1	F45C2-1
			2399,3	2426,5
			F45C0-R2	F45C2-2
			2434,4	2406,1
			F45C0-R3	F45C2-3
			2401,9	2416,1
placeras i 3% NaCl			F45C0-R4	F45C2-4
			2416,1	2425,5

			2412,9		2418,6	
Vägning, kl: efter 24 h	2010-02-02 Start frost	W_e	F45C0-R1	2423,7	F45C2-1	2450,9
			F45C0-R2	2457,2	F45C2-2	2431,6
			F45C0-R3	2424,4	F45C2-3	2441,2
			F45C0-R4	2436,7	F45C2-4	2450,4
			2435,5		2443,5	
C_{abs}			%	0,9	1,0	
Vägning, 5 c	2010-02-07	W_5	F45C0-R1	2193,5	F45C2-1	2387,2
			F45C0-R2	2250,3	F45C2-2	2388,7
			F45C0-R3	2175,6	F45C2-3	2385,3
			F45C0-R4	2244,7	F45C2-4	2370,2
			2216,0		2382,9	
$\Delta W_5, \%$			-8,2		-1,5	
Vägning, 10 c	2010-02-12	W_{10}	F45C0-R1	2072,4	F45C2-1	2298,7
			F45C0-R2	2139,4	F45C2-2	2286,7
			F45C0-R3	2087,7	F45C2-3	2276,8
			F45C0-R4	2112,8	F45C2-4	2289,4
			2103,1		2287,9	
$\Delta W_{10}, \%$			-12,8		-5,4	
Vägning, 15 c	2010-02-17	W_{15}	F45C0-R1	1931,8	F45C2-1	2156,9
			F45C0-R2	2040,1	F45C2-2	2126,1
			F45C0-R3	1965,6	F45C2-3	2127,2
			F45C0-R4	1955,7	F45C2-4	2152,8
			1973,3		2140,8	
$\Delta W_{15}, \%$			-18,2		-11,5	
Vägning, 20 c	2010-02-22	W_{20}	F45C0-R1	1852,8	F45C2-1	2042,9
			F45C0-R2	1937,5	F45C2-2	2006,8
			F45C0-R3	1863,8	F45C2-3	1988,1
			F45C0-R4	1847,9	F45C2-4	2009,2
			1875,5		2011,8	
$\Delta W_{20}, \%$			-22,3		-16,8	
Vägning, 25 c	2010-02-27	W_{25}	F45C0-R1	1784,7	F45C2-1	1919,1
			F45C0-R2	1839,9	F45C2-2	1886,2
			F45C0-R3	1798,1	F45C2-3	1879,3
			F45C0-R4	1745,0	F45C2-4	1876,7
			1791,9		1890,3	
$\Delta W_{25}, \%$			-25,7		-21,8	
Vägning, 30 c	2010-03-04	W_{30}	F45C0-R1	1717,2	F45C2-1	1762,2
			F45C0-R2	1778,8	F45C2-2	1702,1
			F45C0-R3	1706,6	F45C2-3	1718,4
			F45C0-R4	1642,5	F45C2-4	1723,9
			1711,3		1726,7	
$\Delta W_{30}, \%$			-29,1		-28,6	
Vägning, 35 c	2010-03-09	W_{35}	F45C0-R1	1641,1	F45C2-1	1647,4
			F45C0-R2	1698,4	F45C2-2	1536,4
			F45C0-R3	1588,1	F45C2-3	1539,9
			F45C0-R4	1554,7	F45C2-4	1539,4
			1620,6		1565,8	
$\Delta W_{35}, \%$			-32,8		-35,3	

Frostbeständighet SS-EN
13581 vct=0,70
karbonatisering 70 d

			Okarboniserade		Karboniserade	
Gjutning	Datum					
	2009-10-27					
Antal	8		4		4	
Konditionering	2009-11-24		F70C0-R			
21±2C, 60±10 RF, 0% CO ₂						
Konditionering	2009-11-24				F70C2	
21±2C, 60±10 RF, 2% CO ₂						
Vägning kl:	2010-02-01	W_0	F70C0-R1	2305,5	F70C2-1	2320,5
			F70C0-R2	2306,1	F70C2-2	2339,8
			F70C0-R3	2277,7	F70C2-3	2323,6
placeras i 3% NaCl			F70C0-R4	2299,9	F70C2-4	2361,6
				2297,3		2336,4
Vägning, kl:	2010-02-02	W_e	F70C0-R1	2355,4	F70C2-1	2384,8
efter 24 h	Start frost		F70C0-R2	2355,3	F70C2-2	2404,7
			F70C0-R3	2332,4	F70C2-3	2386,5
			F70C0-R4	2350,3	F70C2-4	2425,3
				2348,4		2400,3
		C_{abs}	%	2,2		2,7
Vägning, 5 c	2010-02-07	W_5	F70C0-R1	1875,3	F70C2-1	1936,6
			F70C0-R2	1875,8	F70C2-2	1921,7
			F70C0-R3	1808,7	F70C2-3	2052,8
			F70C0-R4	1831,4	F70C2-4	1904,3
				1847,8		1953,9
		$\Delta W_5, \%$		-19,6		-16,4
Vägning, 10 c	2010-02-12	W_{10}	F70C0-R1	1712,9	F70C2-1	1406,0
			F70C0-R2	1656,4	F70C2-2	1515,2
			F70C0-R3	1616,1	F70C2-3	1637,2
			F70C0-R4	1642,6	F70C2-4	1495,0
				1657,0		1513,4
		$\Delta W_{10}, \%$		-27,9		-35,2
Vägning, 15 c	2010-02-17	W_{15}	F70C0-R1	1455,3	F70C2-1	984,4
			F70C0-R2	1356,3	F70C2-2	1143,8
			F70C0-R3	1357,1	F70C2-3	1216,8
			F70C0-R4	1396,5	F70C2-4	1115,9
				1391,3		1115,2
		$\Delta W_{15}, \%$		-39,4		-52,3
Vägning, 20 c	2010-02-22	W_{20}	F70C0-R1	1221,2	F70C2-1	707,3
			F70C0-R2	1025,5	F70C2-2	803,2
			F70C0-R3	1112,0	F70C2-3	939,2
			F70C0-R4	1117,6	F70C2-4	841,0
				1119,1		822,7
		$\Delta W_{20}, \%$		-51,3		-64,8

Frostbeständighet SS-EN
13581 vct=0,45

karbonatisering 140 d

			Okarboniserade		Karboniserade	
Gjutning	Datum					
	2009-10-27					
Antal	6		2		4	
Konditionering	2009-11-24		F45C0-R			
21±2C, 60±10 RF, 0% CO ₂						
Konditionering	2009-11-24				F45C2	
21±2C, 60±10 RF, 2% CO ₂						
Vägning kl:	2010-04-12	W_0	F45C0-R1	2372,2	F45C2-1	2410,3
			F45C0-R2	2407,9	F45C2-2	2433,1
					F45C2-3	2401,8
placeras i 3% NaCl					F45C2-4	2395,2
				2390,0		2410,1
Vägning, kl:	2010-04-13	W_e	F45C0-R1	2401,2	F45C2-1	2455,1
efter 24 h	Start frost		F45C0-R2	2438,9	F45C2-2	2476,5
					F45C2-3	2446,8
					F45C2-4	2440,3
				2420,1		2454,7
		C_{abs}	%	1,2		1,8
Vägning, 5 c	2010-04-18	W_5	F45C0-R1	2169,7	F45C2-1	2377,8
			F45C0-R2	2120,7	F45C2-2	2422,2
					F45C2-3	2392,9
					F45C2-4	2378,4
				2145,2		2392,8
		$\Delta W_5, \%$		-10,2		-0,7
Vägning, 10 c	2010-04-23	W_{10}	F45C0-R1	1902,2	F45C2-1	2276,5
			F45C0-R2	1928,4	F45C2-2	2340,1
					F45C2-3	2277,3
					F45C2-4	2261,3
				1915,3		2288,8
		$\Delta W_{10}, \%$		-19,9		-5,0
Vägning, 15 c	2010-04-28	W_{15}	F45C0-R1	1685,4	F45C2-1	2146,7
			F45C0-R2	1704,3	F45C2-2	2237,9
					F45C2-3	2123,9
					F45C2-4	2118,5
				1694,9		2192,3
		$\Delta W_{15}, \%$		-29,1		-9,0
Vägning, 20 c	2010-05-03	W_{20}	F45C0-R1	1505,7	F45C2-1	1976,2
			F45C0-R2	1501,4	F45C2-2	2124,1
					F45C2-3	1865,2
					F45C2-4	1963,0
				1503,6		1982,1
		$\Delta W_{20}, \%$		-37,1		-17,8
Vägning, 25 c	2010-05-08	W_{25}	F45C0-R1	1350,3	F45C2-1	1737,5
			F45C0-R2	1307,5	F45C2-2	1984,5
					F45C2-3	1564,5
					F45C2-4	1770,2
				1328,9		1764,2
		$\Delta W_{25}, \%$		-44,4		-26,8
Vägning, 30 c	2010-05-13	W_{30}	F45C0-R1	1096,5	F45C2-1	1431,9
			F45C0-R2	1115,9	F45C2-2	1529,1

Vägning, 35 c

2010-05-18

 $\Delta W_{30}, \%$ W_{35}

F45C0-R1

F45C0-R2

Avslut

F45C2-3

F45C2-4

F45C2-1

F45C2-2

F45C2-3

F45C2-4

965,8

1483,5

647,7

977,1

1,2

677,3

1106,2

-53,7

871,3

882,0

876,7

-63,3

1352,6

-43,9

575,8

-76,1

Frostbeständighet SS-EN
13581 vct=0,70
karbonatisering 140 d

Datum			Karbonatiserade			
Gjutning	2009-10-27					
Antal	4		4			
Konditionering	2009-11-24					
21±2C, 60±10 RF, 0% CO ₂						
Konditionering	2009-11-24					
21±2C, 60±10 RF, 2% CO ₂						
Vägning kl:	2010-04-12	W_0		F70C2-1	2320,0	
	10:20			F70C2-2	2330,3	
				F70C2-3	2320,5	
placeras i 3% NaCl				F70C2-4	2329,4	
			2325,1			
Vägning, kl:	2010-04-13	W_e		F70C2-1	2412,3	
efter 24 h	Start frost			F70C2-2	2420,5	
				F70C2-3	2412,7	
				F70C2-4	2418,8	
			2416,1			
			C_{abs} 3,8			
Vägning, 5 c	2010-04-18	W_5		F70C2-1	2127,4	
				F70C2-2	2130,9	
				F70C2-3	1992,1	
				F70C2-4	2090,2	
			2085,2			
			$\Delta W_5, \%$ -10,3			
Vägning, 10 c	2010-04-23	W_{10}		F70C2-1	1370,6	
				F70C2-2	1468,1	
				F70C2-3	869,4	
				F70C2-4	1372,3	
			1270,1			
			$\Delta W_{10}, \%$ -45,4			
Vägning, 15 c	2010-04-28	W_{15}		F70C2-1	240,6	
				F70C2-2	262,9	
				F70C2-3	238,2	
			Avslut	F70C2-4	190,1	
			233,0			
			$\Delta W_{15}, \%$ -90,0			

Bilaga 4: Vätskeabsorption

Vätskeabsorption, SS-EN 13580

	Datum		VCT 0,45						VCT 0,45 SKB						VCT 0,70					
Gjutning	2009-10-27		REF 3		HG 3		DC 3	9	REF 3		HG 3		DC 3	9	REF 3		HG 3		DC 3	9,0
Vägning/kond	2009-11-24	W _{ssd}	W45-R1	2430,4	W45-HG1	2437,4	W45-DC1	2420,8	W45S-R1	2421,1	W45S-HG1	2382,3	W45S-DC1	2401,0	W70-R1	2390,3	W70-HG1	2376,6	W70-DC1	2378,3
Placering i 21±2C, 60±10 RF			W45-R2	2440,9	W45-HG2	2436,4	W45-DC2	2458,9	W45S-R2	2412,2	W45S-HG2	2412,8	W45S-DC2	2405,5	W70-R2	2372,5	W70-HG2	2384,2	W70-DC2	2411,2
			W45-R3	2433,1	W45-HG3	2447,8	W45-DC3	2453,5	W45S-R3	2418,8	W45S-HG3	2415,1	W45S-DC3	2421,9	W70-R3	2397,6	W70-HG3	2402,4	W70-DC3	2383,2
				2434,8		2440,5		2444,4		2417,4		2403,4		2409,5		2386,8		2387,8		2390,9
Vägning	2009-11-29	W ₅	W45-R1	2419,1	W45-HG1	2425,5	W45-DC1	2405,7	W45S-R1	2400,9	W45S-HG1	2361,7	W45S-DC1	2380,2	W70-R1	2359,6	W70-HG1	2345,5	W70-DC1	2347,3
21±2C, 60±10 RF			W45-R2	2430,0	W45-HG2	2421,1	W45-DC2	2447,0	W45S-R2	2392,0	W45S-HG2	2391,8	W45S-DC2	2384,7	W70-R2	2341,9	W70-HG2	2353,7	W70-DC2	2381,1
			W45-R3	2419,3	W45-HG3	2433,6	W45-DC3	2442,4	W45S-R3	2397,2	W45S-HG3	2395,1	W45S-DC3	2401,5	W70-R3	2368,1	W70-HG3	2371,9	W70-DC3	2352,8
				2422,8		2426,7		2431,7		2396,7		2382,9				2356,5		2357,0		2360,4
Vägning	2009-11-30	W ₆	W45-R1	2418,0	W45-HG1	2424,3	W45-DC1	2404,7	W45S-R1	2399,8	W45S-HG1	2360,6	W45S-DC1	2379,0	W70-R1	2357,2	W70-HG1	2342,9	W70-DC1	2345,1
21±2C, 60±10 RF			W45-R2	2428,9	W45-HG2	2420,0	W45-DC2	2445,9	W45S-R2	2390,8	W45S-HG2	2390,6	W45S-DC2	2383,6	W70-R2	2339,2	W70-HG2	2351,2	W70-DC2	2378,6
			W45-R3	2418,2	W45-HG3	2432,4	W45-DC3	2441,4	W45S-R3	2396,0	W45S-HG3	2394,0	W45S-DC3	2400,5	W70-R3	2365,6	W70-HG3	2369,6	W70-DC3	2350,5
				2421,7		2425,6		2430,7		2395,5		2381,7				2354,0		2354,5		2358,1
Vägning	2009-12-01	W ₇	W45-R1	2417,1	W45-HG1	2423,3	W45-DC1	2403,8	W45S-R1	2399,0	W45S-HG1	2359,7	W45S-DC1	2377,9	W70-R1	2355,4	W70-HG1	2340,7	W70-DC1	2342,9
21±2C, 60±10 RF			W45-R2	2428,1	W45-HG2	2419,1	W45-DC2	2444,8	W45S-R2	2389,9	W45S-HG2	2389,7	W45S-DC2	2382,6	W70-R2	2337,3	W70-HG2	2349,1	W70-DC2	2376,4
			W45-R3	2417,5	W45-HG3	2431,6	W45-DC3	2440,4	W45S-R3	2395,1	W45S-HG3	2393,2	W45S-DC3	2399,5	W70-R3	2363,7	W70-HG3	2367,6	W70-DC3	2348,3
				2420,9		2424,7		2429,7		2394,7		2380,8				2352,1		2352,5		2355,9
Fuktkvot (5,0±0,5)			M ₇	%	4,8	5,0	5,2	%	7,5	6,9	7,2	%	5,2	5,2	5,4					
Förvaring, obebehandlade																				
2009-12-01																				
Obehandlade provkroppar placeras över kaliumsulfatlösning i en försuten behållare																				
Applicering					30 g	18 g				30 g	18 g			30 g	18 g					
impregnering	2009-12-01	W ₁			W45-HG1	2423,3	W45-DC1	2403,8			W45S-HG1	2359,7	W45S-DC1	2377,9			W70-HG1	2340,7	W70-DC1	2342,9
KI:10-12		W ₂				2448,4		2408,4				2395,6		2384,6				2373,2		2349,5
120 sek i vätska för varje sida						25,1		4,7				35,9		6,7				32,5		6,6
Placeras i dragskåp i 48±1 h					W45-HG2	2419,1	W45-DC2	2444,8			W45S-HG2	2389,7	W45S-DC2	2382,6			W70-HG1	2349,1	W70-DC1	2376,4
						2451,0		2448,9				2423,6		2389,4				2383,8		2383,2
						31,9		4,1				33,9		6,9				34,7		6,8
					W45-HG3	2431,6	W45-DC3	2440,4			W45S-HG3	2393,2	W45S-DC3	2399,5			W70-HG1	2367,6	W70-DC1	2348,3
						2465,7		2443,5				2426,7		2407,0				2401,7		2355,1
						34,1		3,1				33,5		7,5				34,1		6,8
Förvaring, behandlade																				
2009-12-03																				
Impregnerade provkroppar placeras över kaliumsulfatlösning i 14 dagar(förvaras ej i tillsammans med ref)																				
Absorption I, i avj vatten																				
Impregnerade/referensprover placeras i avjoniserat vatten i separata bägare																				
Vägning	2009-12-17	i ₁	W45-R1	2422,0	W45-HG1	2432,6	W45-DC1	2406,4	W45S-R1	2407,4	W45S-HG1	2374,5	W45S-DC1	2381,5	W70-R1	2359,8	W70-HG1	2356,3	W70-DC1	2344,9
KI 12:12 - 12:44			W45-R2	2432,1	W45-HG2	2431,3	W45-DC2	2448,8	W45S-R2	2396,6	W45S-HG2	2405,0	W45S-DC2	2386,3	W70-R2	2340,8	W70-HG2	2367,6	W70-DC2	2379,0
			W45-R3	2421,9	W45-HG3	2443,1	W45-DC3	2441,9	W45S-R3	2402,3	W45S-HG3	2408,1	W45S-DC3	2403,1	W70-R3	2366,6	W70-HG3	2385,9	W70-DC3	2350,6
				2425,3		2435,7		2432,4		2402,1		2395,9		2390,3		2355,7		2370,0		2358,2
Vägning	2009-12-17	i ₂	W45-R1	2422,8					W45S-R1	2408,8					W45-R1	2363,4				
efter 1±0,02 h	KI 13:12 - 13:20		W45-R2	2433,0					W45S-R2	2397,6					W45-R2	2342,6				
			W45-R3	2422,8					W45S-R3	2404,3					W45-R3	2370,6				
				2426,2						2403,6					2358,9					
Vägning	2009-12-18	i ₂			W45-HG1	2433,3	W45-DC1	2407,5			W45S-HG1	2375,1	W45S-DC1	2382,3			W70-HG1	2357,9	W70-DC1	2347,5
efter 24±0,1h	KI:12:30				W45-HG2	2431,8	W45-DC2	2449,1			W45S-HG2	2405,8	W45S-DC2	2386,8			W70-HG2	2369,0	W70-DC2	2381,5
					W45-HG3	2443,4	W45-DC3	2444,1			W45S-HG3	2408,7	W45S-DC3	2403,9			W70-HG3	2387,3	W70-DC3	2353,2
						2436,2		2433,6				2396,5		2391,0				2371,4		2360,7
		i _{tm}	(g/m ² h ^{0,5})			1,75		4,16	(g/m ² h ^{0,5})			2,23		2,39	(g/m ² h ^{0,5})			4,88		8,72
		i _{um}	(g/m ² h ^{0,5})	14,3					(g/m ² h ^{0,5})	24,6					(g/m ² h ^{0,5})	52,2				
(Krav: < 7,5 %)		AR	(%)		12,2		29,1	(%)	9,1		9,7	(%)	9,3		16,7					
Absorption II, KOH																				
2009-12-18																				
KI:12:30																				
Impregnerade prover placeras i separata bägare med KOH (5.6 g/l) i 21±0,1 dygn, därefter torkas och vägs tills vilkoret (±2 g) uppfyllts																				
Vägning	2010-01-08				W45-HG1	2436,4	W45-DC1	2411,5			W45S-HG1	2378,4	W45S-DC1	2387,5			W70-HG1	2371,6	W70-DC1	2355,0
efter 21±0,1d	KI:13:20				W45-HG2	2434,1	W45-DC2	2453,5			W45S-HG2	2409,2	W45S-DC2	2391,8			W70-HG2	2360,9	W70-DC2	2389,8
					W45-HG3	2445,6	W45-DC3	2448,5			W45S-HG3	2411,7	W45S-DC3	2408,7			W70-HG3	2390,0	W70-DC3	2362,4