

Hydrofob sprutbetong

Försök med hydrofob sprutbetong
för betongreparation



Anders Selander, Nils Davant, Pär Fjellström

2014-05-27

Förord

Denna rapport behandlar funktionen av en vattenavvisande tillsats i betong. I projektet har två olika sprutbetongrecept undersökts där flera viktiga egenskaper har undersökts i såväl färskt som hårdnat tillstånd. Fokus har legat på egenskaper relaterade till betongens beständighet. Provsprutningarna genomfördes hos BESAB och provningarna i CBI:s lokaler.

Arbetsgruppen i projektet har bestått av Nils Davant(CBI), Anders Selander (CBI), och projektledare Pär Fjellström (BESAB). Projektets referensgrupp har bestått av Peter Lund (Trafikverket), Hans Hedlund (Skanska) samt Jonas Magnusson (NCC). Projektet har finansierats av SBUF, BESAB och CBI Betonginstitutet.

Stockholm maj 2014.

Sammanfattning

Nedbrytningsmekanismer på betongkonstruktioner är oftast kopplade till fuktnivån inne i den hårdnade betongen. Fukt skapar förutsättning för armeringskorrosion samt spjälkning pga. korrosion, frost, kloridangrepp, alkali-kiselsyrareaktioner och urlakning. Korrosionsprocesser kräver både vatten och syre för att starta. Genom att förändra betongens fuktmekaniska egenskap från *hydrofil* (vattenattraherande) till *hydrofob* (vattenavstötande) skapas en miljö med lägre fuktnivå där korrosionsprocesser inte har samma möjlighet att initieras. Betongens naturliga egenskap att snabbt bli vattenmättad i en fuktig miljö har betydelse för bland annat transporten av klorider.

Många utsatta betongkonstruktioner ytbehandlas med vattenavvisande impregneringsmedel (alkylalkoxy-silan/siloxan) för att hindra fukttransport in i betongkonstruktionerna. En förutsättning för att kunna utnyttja dessa produkters positiva egenskaper är att medlet tränger in i konstruktionen. Exakt hur stort inträngningsdjup som behövs varierar med aktuell betongkvalitet som används samt aktuell exponering. Betongens porositet och aktuella fuktnivå påverkar även resultatet mätt som inträngningsdjup av den aktiva substansen. För att få avsedd effekt av en vattenavvisande impregnering krävs det att flera faktorer samverkar vid applikationstillfället. Att avsedd mängd har påförts samt att impregneringens djupverkan har uppnåtts, är faktorer som kan vara svåra och kostsamma för beställaren att kontrollera i efterhand. Vissa klimatförutsättningar och miljöer minskar radikalt förutsättningarna för att uppnå ett bra resultat och det är också känt att upprepade behandlingar ibland krävs för att effekten skall bibehållas då inträngningsdjupet inte alltid blir tillräckligt. Problematiken är känd men accepterad då det hittills inte funnits alternativa lösningar.

Idén att blanda in en vattenavstötande tillsats är inte ny utan detta har provats vid många tillfällen runt om i världen och går ibland under benämningen "internal impregnation". Goda erfarenheter av ren siloxan som tillsats finns men merkostnaden är sällan motiverad i praktiska tillämpningar. I detta projekt har en kombination av etoxylerad polyol och karboxylsyra använts som hydrofob tillsats. Detta är en billigare produkt vilket gör detta till ett gångbart alternativ i många situationer om effekten är god. Sprutbetongen är i sig en känslig produkt då den ofta får stora variationer i porositet inte minst på grund av den varierande doseringen av accelerator, något som tydligt framkommit i projektet. Detta medför att vattenavvisande egenskaper kan vara en önskvärd egenskap i många situationer. Möjligheterna att använda en tillsats som gör betongen vattenavvisande begränsas dock inte till endast sprutbetong utan såväl platsgjutna konstruktioner som prefabricerade element kan i många situationer gynnas av dessa egenskaper.

I projektet har egenskaper som vattenabsorption, uttorkning, kloridtransport, tryckhållfasthet och frostbeständighet påverkas undersökts men även de rent praktiska aspekterna som sprut- och pumpbarhet. Resultaten visar att sprutbetongen får en markant reducerad vattenabsorption vilket bör skydda konstruktionen i aggressiva miljöer men också att uttorkningen sker långsammare. Tryckhållfastheten påverkas i liten utsträckning och frostbeständighet och kloridtransporten kräver fler provningar för att kunna dra några säkra slutsatser. Miljömässigt kan metoden anses vara ett skonsammare alternativ både för den som applicerar samt för omgivningen och betongens konsistens påverkas inte nämnvärt av tillsatsen. Den vattenavvisande tillsatsen blandas in i betongen på fabrik och därmed undviks hanteringen med ytbehandlingsprodukten ute på arbetsplatsen. Inblandning innebär dessutom att full kontroll på hur mycket tillsats som faktiskt finns i betongen fås.

Innehåll

Förord	1
Sammanfattning	2
Bakgrund	4
Fuktens betydelse för olika skademekanismer	4
Hydrofob och hydrofil	5
Vattenavvisande impregneringsmedel	6
Hycrete, en hydrofob tillsats i sprutbetong	8
Metodik	10
Vattenabsorption	10
Uttorkning	10
Frysprovning	11
Kloridmigration.....	11
Tryckhållfasthet	11
FTIR(Fourier Transform InfraRed) – spektroskopi.....	11
Praktiska erfarenheter.....	14
Resultat.....	21
Vattenabsorption	21
Uttorkning	22
Frysprovning	23
Kloridmigration.....	24
Tryckhållfasthet.....	26
FTIR(Fourier Transform InfraRed) – spektroskopi.....	27
Diskussion & Slutsatser	30
Referenser	32
Bilaga-frysprovning.....	34
Bilaga-Tryckhållfasthet	36
Bilaga-kloridmigration	37

Bakgrund

Fuktens betydelse för olika skademekanismer

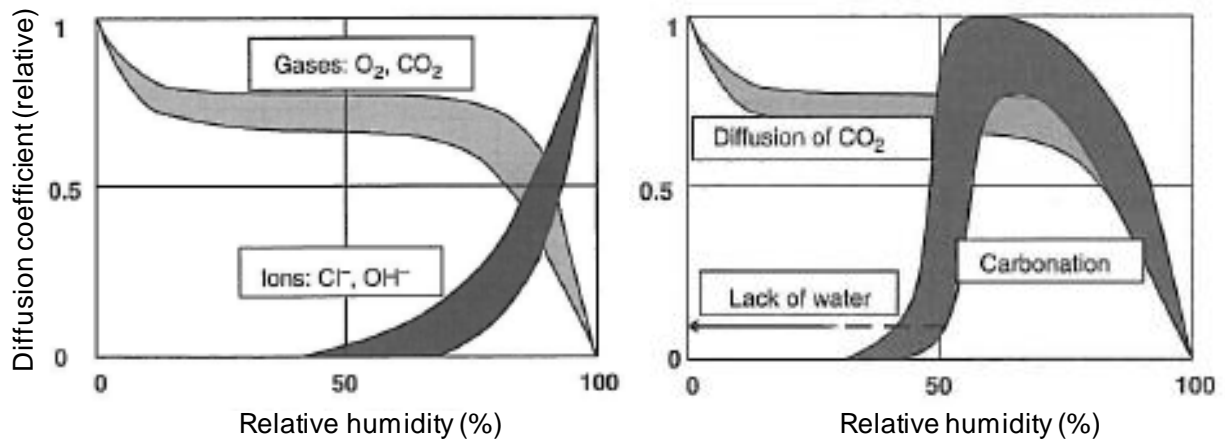
De flesta skademekanismer i betong är relaterade till fuktnivån i konstruktionen. Genom att ändra förutsättningarna för transport av fukt och ämnen lösta i vatten kan därmed skadeförloppets hastighet påverkas. Det är viktigt att veta vilken skademekanism som är verksam, hur den påverkas av en förändrad fuktnivå och/eller fukttransport samt att veta var fukten kommer från.

- **Karbonatisering** går t.ex. som hastigast i intervallet 50-70 % RF (relativ fuktighet) beroende på betongkvalité.
- **Kloridjoner** kräver en kontinuerlig vätskefas för att kunna tränga in i betongen och **armeringskorrosionen** som kräver tillgång av syre är som snabbast vid 85-97 % RF.
- Risken för **frostskador** och **ASR** (alkali silika reaktioner) ökar med ökande fuktnivån.

Vattenavvisande impregneringsmedel, som appliceras på betongkonstruktioner, används frekvent 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. Figur 1 visar fyra typiska skadefall där fuktnivån och/eller fukttransporten spelar en central roll i skadeförloppet och Figur 2 hur viktig fuktnivån är för några av dessa skademekanismer.



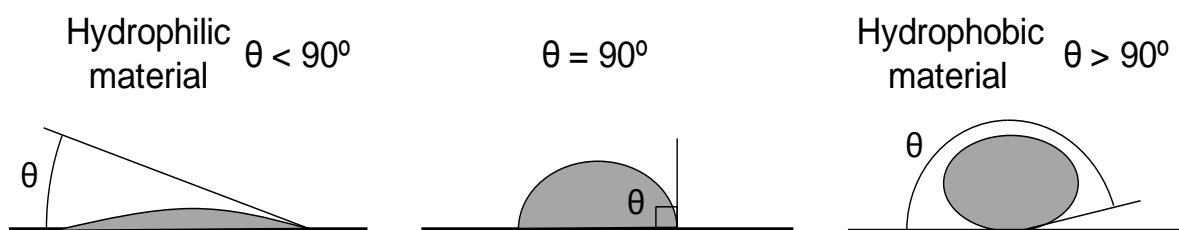
Figur 1: Ö: tv: Kloridinitierad armeringskorrosion på pelarfot i parkeringsgarage, Ö:th: Karbonatiseringsinitierad armeringskorrosion på underkant balkong, N:tv: Frostskadad stödmur, N:th: Tunnslipsanalys på ett ASR angrepp.



Figur 2: Fuktnivåns betydelse för kloridjons- och koldioxidtransport respektive karbonatiseringshastigheten. På y-axeln presenteras en diffusionskoefficient (relativ) som kan ses som ett hastighetsmått dvs. 1 = maximal hastighet och 0 = minimal hastighet. (Hunkler, 2005.)

Hydrofob och hydrofil

Det som händer med betong vid en behandling med ett vattenavvisande impregneringsmedel eller en vattenavvisande tillsats 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 α mellan vatten och betong. För att ytan skall räknas som hydrofob krävs att kontaktvinkeln mellan vatten och underlag skall vara större än 90° , enligt definitionen i Figur 3.



Figur 3: Figuren visar kontaktvinkeln för en vattendroppe på plan yta. Den hydrofoba stöter bort vattnet medan den hydrofila suger in (Selander, 2010).

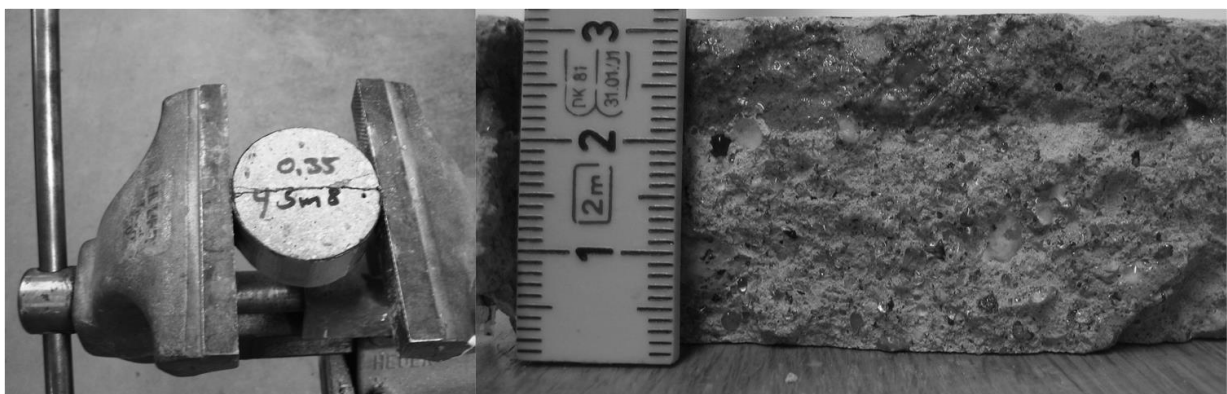


Figur 4: t.v.: Borrkärna efter torkning i 40°C direkt efter att en vattendroppe applicerats. mitten.: Spräckt betongyta där en vattenavvisande tillsats (Hycrete) blandats in. t.h.: Spräckt betongyta där en vattenavvisande impregnering använts.

Effekten av en inblandad hydrofob tillsats blir aldrig lika tydlig som vid en efterbehandling med en vattenavvisande impregnering, men den bör ändå framträda vid ett enkelt test med vattendroppar, se Figur 4. Förenklat kan en hydrofob betong ses som ett membran där vattendroppar stoppas medan vattenånga tillåts passera. I vissa situationer kan detta ha en permanent fukthaltsänkande funktion när till exempel regn hindras från att tränga in, medan vattenånga kan diffundera ut under varma dagar. I andra situationer förhindras lösta ämnen i vatten, t.ex. salter, från att transporteras in. Hur olika skademekanismer i betongkonstruktioner påverkas av dessa förändrade egenskaper i ytskiktet måste bedömas och förutses från fall till fall.

Vattenavvisande impregneringsmedel

Vid en impregnering är det x antal faktorer som kommer att avgöra om själva impregneringen lyckas, dvs. om impregneringsmedlet tränger in, reagerar och ger en vattenavstötande effekt. Betongens fukttransport och fuktfixering påverkas i det impregnerade skiktet (oftast någonstans mellan 1 och 5 mm räknat från ytan). 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. Inträngningsdjupet definieras som det vinkelräta avståndet från en impregnerad yta till den skarpa linjen mellan ljus och mörk betong på en spräckt och fuktad provkropp, se Figur 5.

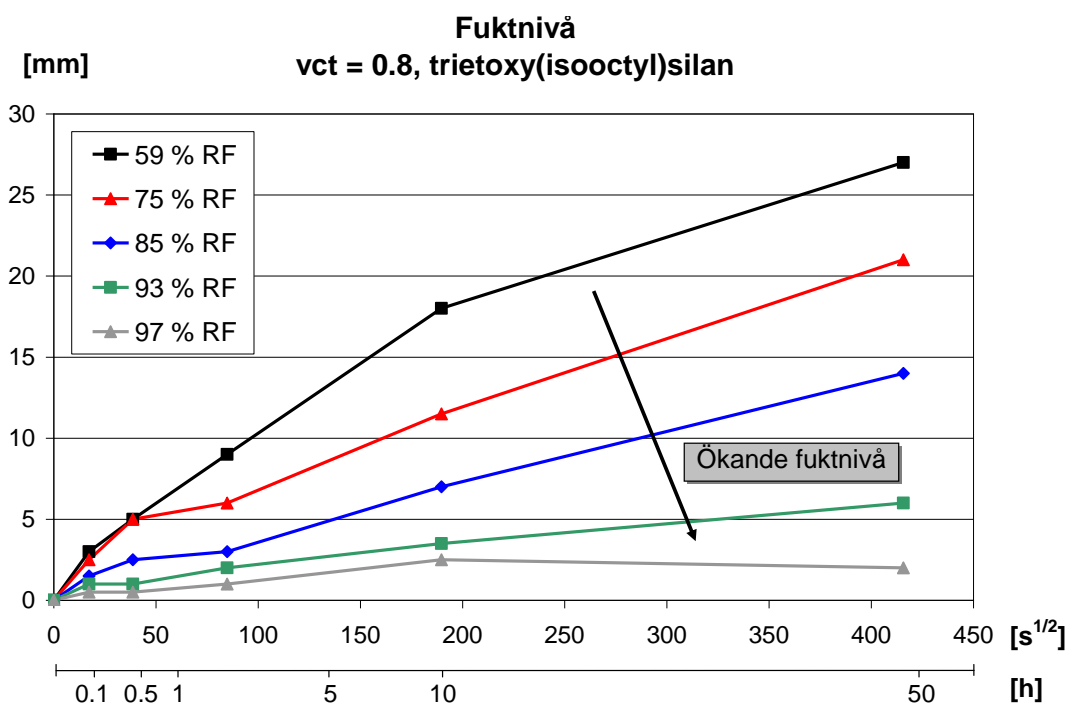


Figur 5: Spräckt provkropp som visar en tydlig gräns mellan impregnerad (nedre) och oimpregnerad (övre) betong (Johansson m.fl., 2007).

Det korrekta kemiska namnet på den aktiva molekylen i våra vattenavvisande impregneringsmedel är alkylalkoxysilan men i den löpande texten benämns den som silan. Silaner är små molekyler som

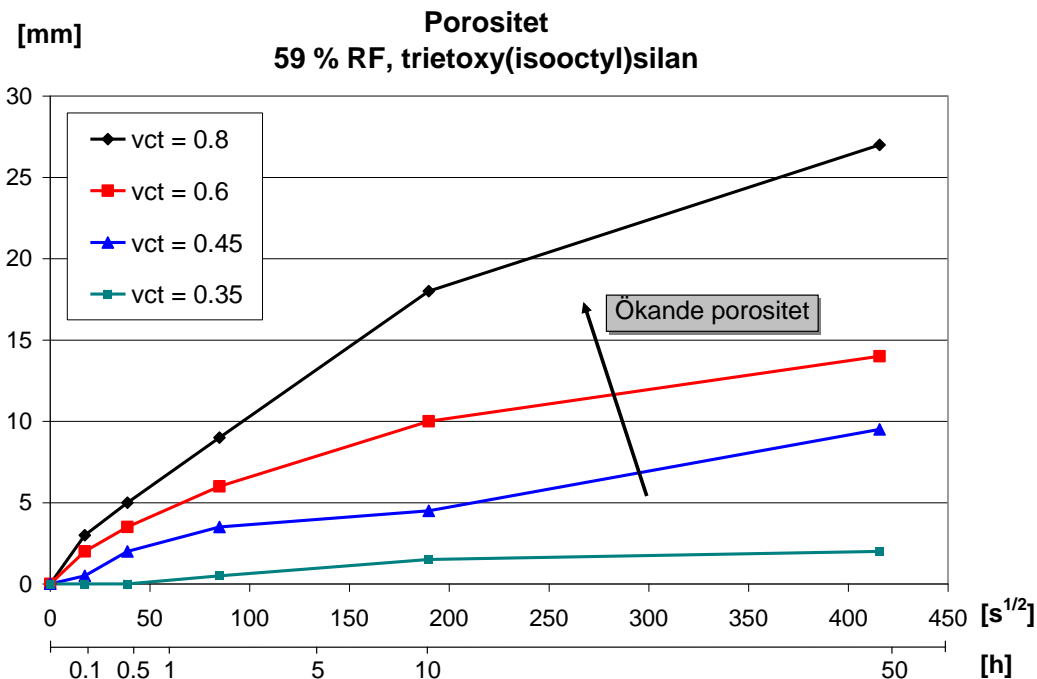
transporteras in i betongen genom kapillärkrafter och reagerar på plats. Kiselatomen i silanen har fyra bindningsmöjligheter där tre stycken i de flesta fall utgörs av alkoxygrupper, vilka reagerar i kontakt med vatten och binder till CSH (Calcium-Silikat-Hydrat) -gel och andra silaner i dess närhet. Reaktionen resulterar i ett fint nätverk (silikonharts/polymer siloxan) på betongens porväggar. Den fjärde gruppen i molekylen utgörs av en alkylgrupp. Denna reagerar inte utan det är denna som ger impregneringen dess avsedda vattenavvisande effekt. Reaktionen är starkt beroende av pH, temperatur och vilken molekyl som används. I de flesta fall har de mesta materialet reagerat inom två veckor. Oavsett om produkten baseras på siloxaner eller silaner är slutprodukten den samma. Siloxanen som är en större molekyl är därför bättre lämpade på underlag med större porer alternativt när en större yteffekt önskas. Omvänt gäller därför att silanbaserade produkter är bättre på underlag med finare porer där ett större inträngningsdjup önskas.

En förutsättning för att kunna utnyttja impregneringens positiva egenskaper är som ovan nämnts att medlet tränger in i konstruktionen och här finns en problematik. Den fuktiga miljö utsatta betongkonstruktioner ofta befinner sig i kombination med betongens hydrofila egenskaper medför att betongens porer ofta är fuktmättade och därmed svåra att impregnera med ett gott resultat. Figur 6 illustrerar denna problematik. En regnutsatt konstruktion har ofta ett RF ovanför 90 %.



Figur 6: Fuktnivåns inverkan på inträngningsdjupet. Provkropparna konditionerades ett halvår i respektive RF-miljö innan de impregnerades med trietoxy(isooctyl)silan. Man ser tydligt att en ökande fuktnivå minskar inträngningen av silanen (Johansson m.fl., 2007).

En andra viktig faktor är att en nyproducerad betongkonstruktion i vägmiljö har ett receptkrav med lågt vattencementtal (vct) på grund av exponeringsklasserna. Detta får till följd att porvolymen blir mindre och impregneringsmedlet har svårare att tränga in. Figur 7 visar detta för olika betongrecept som konditionerats i 59 % RF innan impregneringen utfördes.



Figur 7: Porositetens inverkan på inträngningsdjupet. Provkropparna konditionerades i ett halvår i 59 % RF och behandlades med trietoxy(isooctyl)silan. Man ser tydligt att en ökad porositet ger större inträngning (Johansson m.fl., 2007).

Exakt hur stort inträngningsdjup som behövs varierar självklart med vilken betongkvalitet som används och vad den är utsatt för. De tre viktigaste faktorerna för alla impregneringsmedels inträngning i betong (givet att substans och koncentration är densamma), är kontakttiden mellan betong och impregneringsmedel, betongens porositet och betongens fuktnivå vid impregneringstillfället. Med kontakttid avses här den tid betongkonstruktionens yta kan kapillärsuga impregneringsmedlet. Att dessa tre faktorer har en avgörande betydelse för resultatet är väl dokumenterat och illustreras tydligt i Figur 6 och 7. I graferna presenteras inträngningsdjupet på y-axeln och roten ur tiden på x-axeln. Kombinationen av en relativ tät betong och en fuktig miljö medför att effekten av en impregnering kan variera stort och att metoden har begränsningar.

Hycrete, en hydrofob tillsats i sprutbetong

En inblandad vattenavvisande tillsats har i huvudsak samma funktion som en vattenavvisande impregnering, att förändra kontaktvinkeln mellan porernas yta och vatten. Här finns ett stort antal organiska föreningar att välja på som uppvisar dessa egenskaper i varierande omfattning. I (Justnes, 2008) görs en sammanställning av tre olika kategorier utifrån (Rixom & Mailvaganam, 1999) definition.

- **Kemisk reaktion med underlaget:** Detta innefattar framförallt organiska föreningar med karboxylgrupper vilka reagerar med bland annat kalcium och binder till underlaget. Den resterande organiska kedjan vänder sig från ytan och ger en vattenavstötande effekt. Siloxaner/silaner nämns inte i denna sammanställning men dessa bör räknas in då dessa

reagerar inte bara med underlaget utan även polymeriseras. Effekten av dessa som inblandad tillsats har testats av t.ex. (Wittman m.fl., 2005 och Meier m.fl. 2005).

- **Filmbildande:** Här nämns olika typer av vaxemulsioner som då de utsätts för betongens höga alkalinitet bryts ned för att sedan då betongen torkar ut bilda en film inuti porsystemet.
- **Findelat material:** I denna kategori ingår organiska föreningar som inte har någon interaktion med underlaget men på grund av sin hydrofoba natur kan förändra betongens egenskaper. Bitumen samt Kalcium- och Aluminiumstearat är exempel på detta.

Hycrete är en tillsats som gör betongen hydrofob eller delvis hydrofob. Vid ett första test av den vattenavstötande effekten på en spräckt yta fås en tydlig effekt. Det är dock tveksamt om kontaktvinkeln är så stor att ytan kan räknas som hydrofob men jämfört med en betong utan tillsats är effekten markant. Hycrete tillhör den ovan nämnda kategorin "kemisk reaktion med underlaget". Följande beskrivning av produkten baseras på information given från tillverkaren:

Produkten består av två huvudkomponenter:

1. Dimeriserad dikarboxylsyra, dvs. en kolvätekedja (R^1) med två karboxylgrupper (COOH) som reagerat med sig själv och bildar en s.k. dimer.

Monomeren: $\text{HOOC}-(R^1)\text{-COOH}$

2. Etoxylerad polyol dvs. en kolvätekedja (R^2) med flera OH-grupper och etoxygrupper ($\text{O C}_2\text{H}_5$)

Etoxylerad polyol: $R^2\text{O}(\text{OC}_2\text{H}_4)_n\text{H}$

Längden på R^1 och R^2 , antalet etoxygrupper (n) samt proportionerna mellan de två huvudkomponenterna är företagshemligheter och produkten skyddas av ett eller flera amerikanska patent, se referenslistan. Enligt företaget reagerar produkten med tvåvärda metalljoner och formar ett gummilikt material. Produkten kan därmed binda både till armeringen (Fe^{2+}) och betongen (Ca^{2+}). Man hävdar även från tillverkarens sida att produkten fungerar som en korrosionsinhibitor genom att bryta fuktfilmen (elektrolyten) på armeringens yta. Kolvätekedjorna orienterar sig från ytan och ger den vattenavstötande effekten. När betongen torkar ut formas gummilikt proppar i microsprickor. Effekten hos produkten är sammanlänkat med koncentrationen och normal dosering är 1 volym-% av betongen. Lägre doseringar ger en sämre effekt medan en högre dosering kan leda till problem i vidhäftningen mellan cementpasta och ballast enligt tillverkaren.

Det korrekta produktnamnet är Hycrete X1002 i vätska och Hycrete M1000 i pulverform. I den löpande texten benämns de båda som Hycrete och det är endast i FTIR-analysen som pulver använts.

Metodik

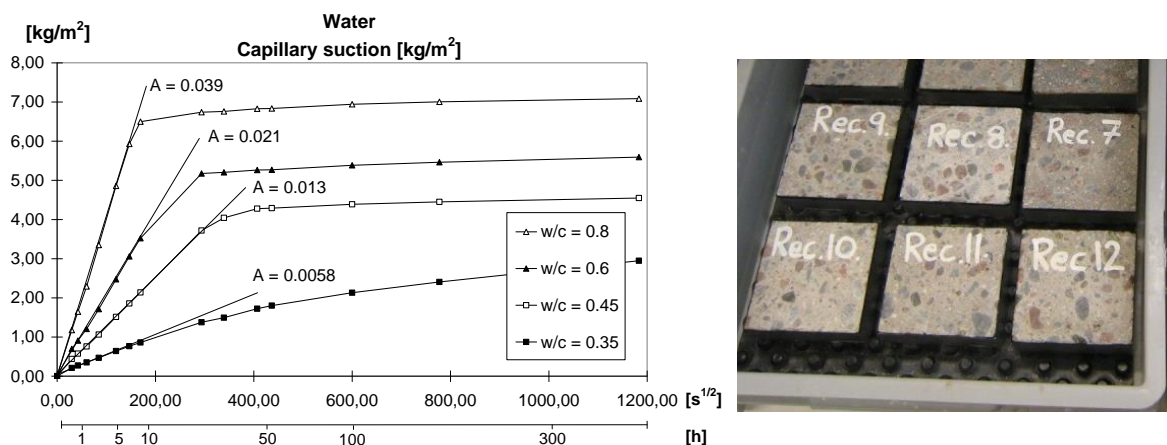
Samtliga provningar har utförts på sprutbetong där två olika recept med $v_{ct}=0,40$ respektive $v_{ct}=0,55$. Accelerator som oftast används i sprutbetong tillför vatten till receptet och påverkar mikrostrukturen i betongen. För att undersöka effekten av Hycrete och undvika risken att acceleratoren påverkade provningsresultatet sprutades därför lådor både med och utan accelerator. Betongrecept samt reflektioner från sprutningen redovisas under praktiska erfarenheter.

I några provningar ingår även impregnerade prover. Dessa impregnerades med isobutyltriethoxysilan genom att doppa i vätska två gånger i 60s. Proverna konditionerades i 65 % RF innan behandling. Eftersom användandet av vattenavvisande impregnering är en vanlig skyddsåtgärd i Sverige och effekten hos Hycrete delvis är densamma görs en jämförelse mellan metoderna. Nedan redovisas de ingående provningsmetoderna som använts samt en redogörelse från sprutningarna.

Alla provningar genomfördes minst 28 dygn efter gjutning. Tryckhållfastheten provades efter 28 dygn för samtliga prover. Övriga provningar initierades samtidigt efter andra provsprutningen vilket innebär att recepten med $v_{ct}=0,55$ är drygt 6 månader gamla när provhanteringen och försöken startar och recepten med $v_{ct}=0,40$ 1 månad. Vid en jämförelse mellan dessa bör därför detta tas i beaktande. Inom respektive v_{ct} är dock åldern samma då provningarna genomförs.

Vattenabsorption

Vattenabsorptionen (sorptionskoefficienten) bestäms genom att utborrade kärnor sågas i 30 mm tjocka plattor, torkas i ugn i 40 °C tills dess jämvikt infinner sig. Mantelytan förseglas med en tejp och proverna placeras på en speciell duk för att hela den exponerade ytan skall ha obegränsad kontakt vattenytan. Viktökningen registreras enligt ett givet schema och sorptionskoefficienten bestäms som lutningen, innan fuktgenomslag fås, där viktökningen ritas ett diagram mot roten ur tiden, se Figur 8. Samma provkroppar användes till uttorkning efter absorptionsförsöken.



Figur 8: Kapillärsugningsförsök där sorptionskoefficienten A [kg/m²s^{1/2}] bestäms. I experimenten användes skivor från utborrade cylindrar och inte kuber som fotot visar.

Uttorkning

Provkropparna placerades efter vattenabsorptionsförsöken under vatten i 2 månader. Denna konditionering avbröts då referensprovkroppar och provkroppar med inblandad Hycrete uppvisade samma viktökning per tidsenhet. I Figur 8 innebär detta att kurvorna skulle vara parallella.

(Provkropparna mättades inte med undertryck då det befarades att detta kunde fylla porer som normalt inte skulle kunna fyllas).

De impregnerade provkropparna placerades så att de endast kunde torka ut genom den impregnerade ytan. Uttorkningen skedde i 65 % RF och 20 °C.

En uttorkningskoefficient D [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$] beräknades från viktminskningen under andra dygnet.

Frysprovning

Frostresistens provades enligt SS 13 72 44, utgåva 4, förfarande III (sågad yta), metod A (3 % NaCl-lösning).

Provningen genomfördes i 56 cykler undantaget en provkropp vilken gick vidare till 112 cykler.

I bedömningen delas resultatet in i fyra kategorier utifrån mängden avflagat material.

Två serier genomfördes, en där provkropparna konditionerades i två veckor i 65 % RF tills provningen genomfördes och en i 100 % RF. Detta är inget avsteg från standarden utan syftet var att se om resultatet påverkades av konditioneringen innan. En vattenavvisande tillsats medför en markant långsammare uttorkning vilket teoretiskt skulle kunna påverka utgångsläget inför provningen vid en så kort konditioneringsperiod som standarden föreskriver.

Kloridmigration

Kloridmigrationen bestämdes enligt NT-Build 492 på utborrade kärnor.

Tryckhållfasthet

De sprutade lådorna lagrades under vatten i sju dygn och därefter borrades kärnor ut vilka sedan lagrades i 65 % RF tills provningstillfället. Provningen utfördes efter 28 dygn.

Från kärnorna utsågades vardera en provcylinder med längden (i möjligaste mån) motsvarande diametern. Cylindrarnas tryckytor planslipades. Efter provberedningen och fram till provningstillfället lagrades cylindrarna minst tre dygn i luft med 20 °C temperatur och 65 % RF.

Tryckhållfastheten bestämdes enligt SS-EN 12390-3:2009.

Densiteten bestämdes enligt SS-EN 12390-7:2009.

FTIR(Fourier Transform InfraRed) – spektroskopi

FTIR – spektrometern som används i experimenten är ett instrument som skickar infraröd strålning genom KBr - tabletter. Framställningen av proverna är tidskrävande men fördelen är att när metoden är kalibrerad mot en referensserie kan den användas för en noggrann kvantifiering av en specifik molekyl eller grupp. Information om tjockleken hos tabletten och koncentrationen av pulver i tabletten är nödvändigt och säkerställs genom noggranna beredningar av provet. Bidraget till ett FTIR - spektra är nästan noll från KBr. Följande steg ingår i beredningen och mätningar av en tablett från torr betong, Metoden baseras på (Gerdes m.fl., 1998) vilken ursprungligen togs fram för silaner/siloxaner:

1. Pulver/kaks behövs för mätningarna. Detta fås med en fräs (se figur 2a) eller en kross. En provkropp placeras i maskinen horisontellt och betongpulvret samlas upp. Denna metodik är samma som för t.ex. en noggrann kloridinträngningsprofil.
2. Betongkakset torkas i 105 °C, blandas med KBr med en given koncentration och massa med en noggrannhet av 0,0002 g eller högre än 99 %. Detta är viktigt för att säkerställa att koncentrationen och tjockleken hos tablettens. Kvantifiering är beroende av detta.
3. Blandningen placeras sedan i tryck (se figur 2b). KBr smälter vid högt tryck och när trycket släpps har en tablett bildats.
4. Tabletten kan därefter placeras i en hållare (se Figur 2c), vilken passar i FTIR - spektrometer (se figur 2d).

Den tillsats som använts vid sprutningen var i vätskefas. Vid tillverkningen av referensserien i FTIR-analysen användes en torr tillsats men samma sammansättning. Denna blandades in i koncentrationer 1-10 mg/g betong d.v.s. 0.1-1 vikts-%.

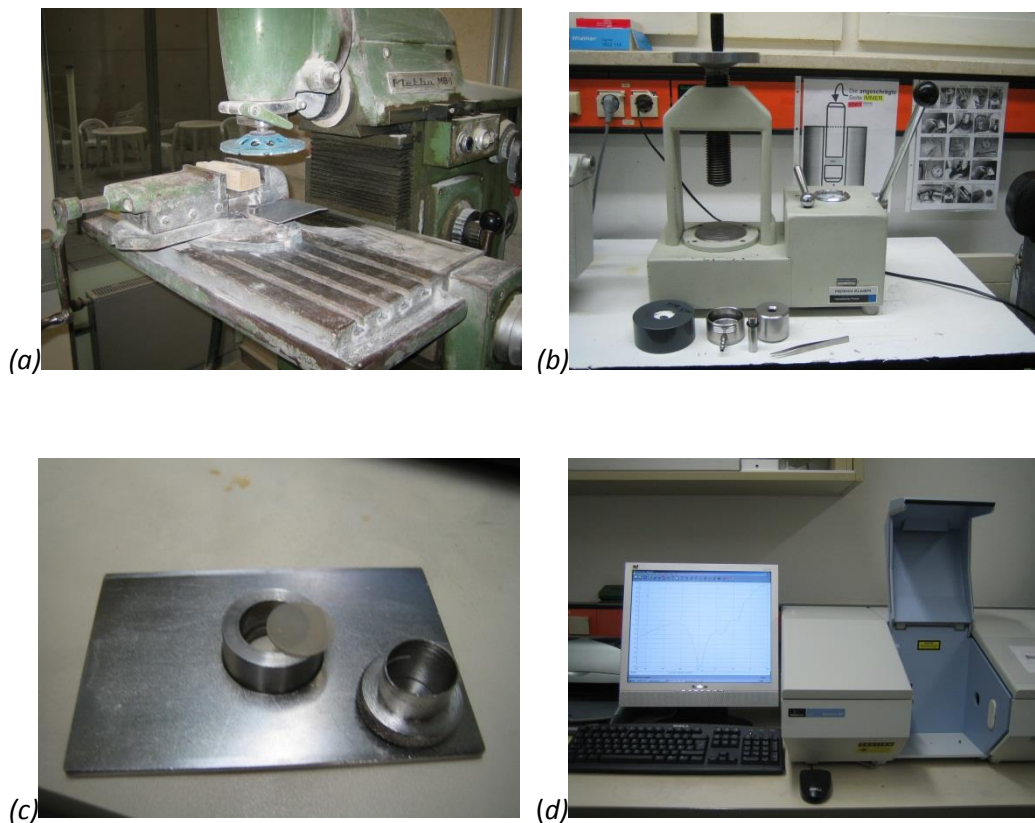
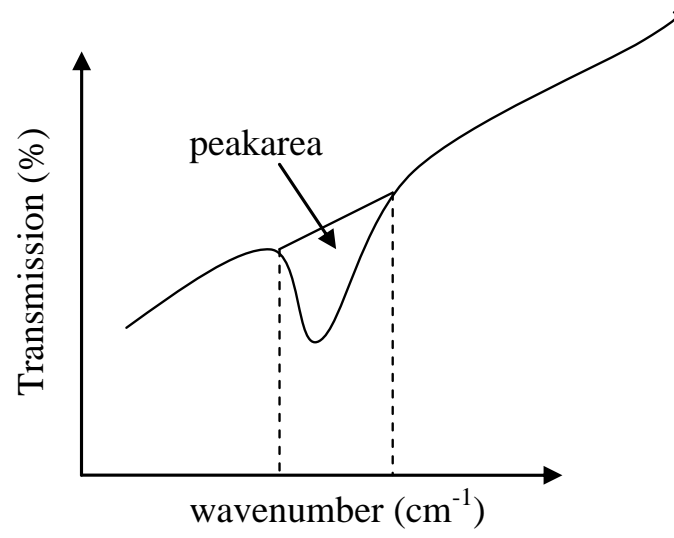


Figure 9: a) En fräs eller kross används för att få pulver till analysen. b) Tryckpress för att pressa KBr-tabletter. c) KBr-tablett och hållare. d) FTIR-spektrometer.

Resultatet av analysen är ett spektra med vågtal (wavenumber) på x-axeln och transmission alternativt absorption (%) på y-axeln till följd av IR-strålning. I området för vågtalet 2600-3200 fås en skillnad i spektrum för betong och organiskt material. Kvantifieringen bygger på en areaberäkning. En specifik topp (se Figur 10) som orsakas av den vattenavvisande tillsatsen identifieras och arean av denna topp är relaterad till mängden organiskt material. Detta innebär förstås att även andra organiska tillsatser t.ex. en flyttillsats eller luftporbildare kan störa analysen.



Figur 10: Illustration av metoden där arean av en specifik topp är relaterad till mängden av material i betongen.

Praktiska erfarenheter

Nedan följer en sammanfattning av provsprutningarna innehållande betongrecept samt korta reflektioner:

Första mötet för detta projekt hölls den 2 oktober 2012. Här bestämdes att två recept med olika vct skulle användas som referens. Det första referensreceptet med vct=0,55 utgjordes av en fabriksblandad torrbruksprodukt från Weber. Det andra referensreceptet med vct=0,40 var en fabriksblandad betong som transporterades med betongbil till arbetsplats.

Den 20 mars 2013 – Provsprutning med cementbruk a – Anläggning. Sten max 4 mm.

I Tabell 1 visas provningsprotokollet från denna sprutning och i Figur 11 foton från sprutningen.

- Uttagna referensprov märkt: R55:01-03
- Prov med iblandad hydrofoberande tillsats märkt: H55:01-03
- 1 volym-% Hycrete X1002X tillsattes direkt efter vattentillsatsen.
- Blandare: Planblandare med kapacitet för 5 x 25 säckar torrbruk.
- Betongpump: Kolvpump modell Putzmeister med 1,5 tum slang
- Betongen sprutades i lådor som vattenlagrades i 1 vecka och därefter i RF 65%.
- Som vattenreducerande medel användes Glenium 51 (densitet 1,1 och torrhalt 35%)

Tabell 1: Provningsprotokoll

Provningsprotokoll Hydrofoberad sprutbetong 20/3 2013							
Prov nr	C-halt	vct	Satsvolym	v-red	Hycrete	Konsistens	Vattenhalt
1	31.3 kg	0,55	65 liter	0,12 liter	x	70, sättm.	17,2 liter
2	31.3 kg	0,55	65 liter	0,12 liter	0,65 liter	likvärdig	16,55 liter

Kommentarer till provsprutning den 20 mars 2013

Vid provning av den färdigblandade torrbetongen från Weber blandades satsvolymen om 65 liter. Meningen var att vi skulle prova både med vct 0,55 och vct 0,40. Vid dessa provningar användes ingen acceleratortillsats.

En viss vattenreducerande effekt kunde märkas vid inblandning av Hycrete-tillsatsen. Den färska blandningen upplevdes som något smidigare i sin konsistens.

Pumpning och sprutning gick bra vid vct 0,55 trots att konsistensen hölls på en relativt trögflytande nivå. Konsistensen hölls relativt styv för att likna en reparationsbetong som håller sig kvar på ett vertikalt underlag utan acceleratortillsats. Återstudsad materialmängd var i princip noll vid båda proven.

Vi försökte även prova att spruta med vct 0,40. Då med hjälp av vattenreducerande tillsats för att hålla ned vattenhalten. Denna betong gick inte att pumpa igenom slangen och provningen avslutade därför.



Figur 11: Foton från provsprutning den 20 mars

Den 15 augusti 2013 – Provsprutning med fabriksblandad betong vct=0,40

Betongproducent: Skanska, Solnafabriken, Stockholm

Sprutbetongentreprenör: Besab AB, Stockholm

Sprutbetongrecept C35/45 från Skanska, Solnafabriken

Exponeringsklassad enligt: XC4, XS3, XD3, XF2, XA3

Konsistensklass S4

Naturgrus, Dmax 8 mm

Max vct=0,40

Lufttillsats: Micro-Air10 (BASF)

Flyttillsats: Dynamon SX-A (Mapei)

Anläggningscement Std Degerhamn CEM 1 N MH/SR/LA

Ingående delmaterial per m³ betong:

Cement:	495 kg
Naturgrus 0-8 mm:	1600 kg (torr materialvikt)
Vatten:	192 kg
Flyttillsats:	3.7 kg
Lufttillsats:	1,0 kg

Provblandning nr 1

- 20 liter vatten ersattes av 20 liter Hycrete i ordinarie recept för 2 m³.
- Extra dosering: 1,5 + 1,5 liter flyttillsatsmedel tillsattes i roterbil för att uppnå konsistens S4.
- Konsistensen uppmättes till 180 mm sättmått och lufthalten mättes till 6,0 %
- Betongen transporterades 20 minuter och sprutades därefter i lådor
- Accelerator Mapequick AF2000 – NL användes Dosering 5-10 %.
- 3 av sprutlådorna som innehöll accelerator Märktes med dagens datum samt med AH.
- Övriga 5 sprutlådor sprutades utan tillsats av accelerator och märktes med dagens datum samt H.

Provblandning nr 2

- Referensrecept för 2 m³ användes
- Konsistensen uppmättes till 200 mm sättmått och lufthalten mättes till 7,2 %
- Betongen transporterades 20 minuter och sprutades därefter i lådor
- Accelerator Mapequick AF2000 – NL användes Dosering 5-10 %.
- 3 av sprutlådorna som innehöll accelerator Märktes med dagens datum samt med AR
- Övriga 5 sprutlådor sprutades utan tillsats av accelerator. Märktes med dagens datum samt med R.

Kommentar till provsprutning den 15 augusti 2013

Vid första provsatsen i stor skala (2m³) med fabriksblandad sprutbetong vct 0,40, doserades 1 volyms-% av Hycrete-tillsatsen i fabriken blandare strax efter blandningsvattnet. Uppmätt lufthalt var 6,0 % och konsistens sättmått var 180 mm vid fabrik. Betongen transporterades i 20 minuter och sprutades därefter i lådor. Först med acceleratortillsats och därefter utan acceleratortillsats. Inget avvikande från normal sprutning observerades.



Figur 13: Foton från provsprutning den 15 augusti.



Figur 14: Vattenuppsugning i borrkärna hos referensbetong, vct=0,40



Figur 15: Hydrofoberande effekt hos borrkärna med 1 volyms-% Hycrete plus accelerator inblandad, vct=0,40



Figur 16: Hydrofoberande effekt hos borrkärna med 1 volyms-% Hycrete inblandad, $v_{ct}=0,40$

Resultat

I resultatsammanställningen behandlas varje försök var för sig. I resultaten från de flesta försöken kan trender ses men spridningen är i många fall så stor både inom referens och behandlad/inblandad att det är svårt att dra några säkra slutsatser. Vattenabsorption och uttorkning utmärker sig med tydligast trender.

Vattenabsorption

I Tabell 2 redovisas resultaten från vattenabsorptionsförsöken:

Tabell 2: Vattenabsorption hos de undersökta provkropparna. Sista kolumnen redovisar den procentuella skillnaden jämfört med referensreceptet. Jämförelsen görs mot referensen med samma vct. Ett positivt procenttal innebär vattenabsorptionen är högre än referensen.

Absorption				
Kommentar	Beteckning	Sorptionskoeff. A [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}^{1/2}$]	Medel A_{AB} [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}^{1/2}$]	Relativt referens [%]
Referens, vct=0.40	R04 A	0,0054	0,00495	
	R04 B	0,0045		
Referens, vct=0.40 (accelerator)	R04 acc A	0,0104	0,00975	97,0
	R04 acc B	0,0091		
Hycrete, vct=0.40	H04 A	0,0024	0,0023	-53,5
	H04 B	0,0022		
Hycrete, vct=0.40 (accelerator)	H04 acc A	0,003	0,00245	-50,5
	H04 acc B	0,0019		
Impregnerad, vct=0.40 (Isobutyltriethoxysilan)	R04S A	0,0005	0,00045	-90,9
	R04S B	0,0004		
Referens, vct=0.55	R55 A	0,0083	0,011	
	R55 B	0,0137		
Hycrete, vct=0.55	H55 A	0,0017	0,0016	-85,5
	H55 B	0,0015		
Impregnerad, vct=0.55 (Isobutyltriethoxysilan)	R55S A	0,0008	0,0007	-93,6
	R55S B	0,0006		

Ur tabellen kan följande noteras gällande vct=0,40:

- Användandet av acceleratoren har givit nästan dubbelt så hög vattenabsorption som referensen. Den extra vattenmängd som tillförs genom acceleratoren samt det förändrade härdningsförloppet bidrar sannolikt till en förändrad och öppnare porstruktur som avspeglas i sorptionskoefficienten.
- Tillsatsen av Hycrete har reducerat vattenabsorptionen med drygt hälften jämfört med referensen. Detta gäller även för tillsatsen Hycrete i kombination med acceleratoren när denna jämförs med referens utan accelerator.
- Jämförs sprutningarna med accelerator med varandra är reduktionen i vattenabsorption ca 75 % genom tillsatsen av Hycrete.
- Impregneringen har gett drygt 90 % i reduktion av vattenabsorptionen.

Ur tabellen kan följande noteras gällande vct=0,55:

- Tillsatsen av Hycrete har reducerat vattenabsorptionen med drygt 85 % jämfört med referensen.
- Impregneringen har gett 94 % i reduktion av vattenabsorptionen.

Uttorkning

I Tabell 3 redovisas resultaten från uttorkningsförsöken:

Tabell 3: Uttorkning hos de undersökta provkropparna. Sista kolumnen redovisar den procentuella skillnaden jämfört med referensreceptet. Jämförelsen görs mot referensen med samma vct. Ett positivt värde innebär att provkroppen släpper ifrån sig fukt snabbare än referensen.

Desorption				
Kommentar	Beteckning	Uttorkningskoeff. D [kg/m ² s]	Medel D _{AB} [kg/m ² s]	Relativt referens [%]
Referens, vct=0.40	R04 A	1,14358E-06	1,32E-06	
	R04 B	1,48666E-06		
Referens, vct=0.40 (accelerator)	R04 acc A	1,82973E-06	1,5E-06	14,3
	R04 acc B	1,17626E-06		
Hycrete, vct=0.40	H04 A	5,39117E-07	5,88E-07	-55,3
	H04 B	6,37139E-07		
Hycrete, vct=0.40 (accelerator)	H04 acc A	1,09457E-06	9,48E-07	-28,0
	H04 acc B	8,00508E-07		
Impregnerad, vct=0.40 (Isobutyltrietyoxysilan)	R04S A	4,24759E-07	4,98E-07	-62,1
	R04S B	5,71791E-07		
Referens, vct=0.55	R55 A	1,9931E-06	1,86E-06	
	R55 B	1,73171E-06		
Hycrete, vct=0.55	H55 A	1,17626E-06	1,18E-06	-36,4
	H55 B	1,19259E-06		
Impregnerad, vct=0.55 (Isobutyltrietyoxysilan)	R55S A	8,98529E-07	7,68E-07	-58,8
	R55S B	6,37139E-07		

Ur tabellen kan följande noteras gällande vct=0,40:

- Användandet av acceleratoren som gav en kraftigt ökad vattenabsorption ger också en snabbare uttorkning än referensen.
- Tillsatsen av Hycrete bromsar upp uttorkningen markant dock inte riktigt lika mycket som impregneringen.

Ur tabellen kan följande noteras gällande vct=0,55:

- Uttorkningen sker långsammare med tillsatsen Hycrete även med vct=0,55, dock betydligt snabbare än den impregnerade.

Frysprovning

Två serier genomfördes, en där provkropparna konditionerades i två veckor i 65 % RF tills provningen genomfördes och en i 100 % RF. Detta är inget avsteg från standarden utan syftet var att se om resultatet påverkades av konditioneringen innan. I bedömningen delas resultatet in i fyra kategorier utifrån mängden avlagat material. Mycket god, God, Acceptabel samt Icke acceptabel. I detta fall hamnade inga prover i kategorin acceptabel varför denna kategori inte redovisas i tabellen.

Samtliga resultat redovisas i Bilaga frysprovning.

Tabell 4: Sammanställning av resultat från frysprovningen. Provnigen pågick i 56 dygn med undantaget för provkropp "H04 acc 1:5" där 112 dygn krävdes för bedömningen.

Frysprovning sammanställning							
100 % RF				65 % RF			
Beteckning	mycket god	god	icke accept.	Beteckning	mycket god	god	icke accept.
R 04 14:6	x						
R 04 14:7	x						
R 04 acc 11:9	x						
R 04 acc 11:10		x					
H 04 4:3	x			H 04 4:8	x		
H 04 4:6	x			H 04 4:10	x		
H 04 acc 1:3	x			H 04 acc 1:5		x	
H 04 acc 1:4		x		H 04 acc 1:8		x	
R 55 1:6	x						
R 55 1:8	x						
H 55 2:9			x	H 55 2:6			x
H 55 2:7			x	H 55 2:8	x		

Ur tabellen kan följande noteras:

- Samtliga provkroppar med vct=0,40 får betyget god eller mycket god oavsett om Hycrete varit inblandat eller inte.
- Acceleratorn ger ett något sämre betyg jämfört med referensen utan. 4 av 6 provkroppar med accelerator får god till skillnad från de utan där samtliga får mycket god. Detta gäller för vct=0,40.
- Frostbeständigheten för vct=0,55 utan inblandad Hycrete får betyget mycket god medan 3 av 4 med inblandat Hycrete får betyget icke acceptabelt. Den sista provkroppen får dock mycket god så här är spridningen stor.
- Konditioneringen som gjordes innan provningen startade verkar inte ha någon stor inverkan på resultatet även om en provkropp (H 55 2:8) får ett markant bättre resultat av den torrare miljön.

Kloridmigration

Provningarna utfördes enligt NT-Build 492. Metoden bygger på att en pålagd spänning driver in kloriderna. Valet av denna metod visade sig medföra flera problem. Samtliga resultat redovisas i Bilaga-kloridmigration under Protokoll I-VI. Nedan redogörs reflektioner för dessa receptvis och vi väljer att inte dra några slutsatser från dessa resultat då de helt eller delvis satts ur spel pga. två huvudskäl.

- 1) Spridningen inom respektive recept är så stor att vissa prover inte gått att analysera. Metoden förutsätter att de tre provkroppar som analyseras samtidigt måste ha en relativt liten spridning inom sig. Är någon provkropp mindre tät, drivs kloriderna rakt igenom och det går inte att beräkna en migrationskoefficient. Detta är troligtvis relaterat till den naturliga spridningen hos en sprutbetong.
- 2) Metoden verkar ha varit olämplig för både den inblandade tillsatsen och impregneringen. I fallet impregnering har initialmotståndet varit högt vilket medfört att en "för" hög strömstyrka valts för betongen och kloriderna drivits igenom även här. För provkropparna med inblandad tillsats verkar effekten varit väldigt liten trots att vattenabsorptionsförsöken visat en mycket tydlig effekt. Återigen är spridningen stor.

Med facit i hand borde analysen av motståndet mot kloridinträngning skett med en accelererad metod där diffusion är transportmekanismen. I Tabell 5 redovisas en sammanställning av resultaten.

Tabell 5: Kloridmigrationskoefficienten bestämd enligt NT-Build 492. (-) =värdefel, medel beräknas endast om det går att beräkna migrationskoefficienten på alla tre provkropparna. Se bilaga-kloridmigration för fullständiga resultat.

Kommentar	Migrationskoefficient $D_{NTB} [x 10^{-12} m^2/s]$			Medel $D_{NTB} [x 10^{-12} m^2/s]$
	1	2	3	
Referens, vct=0.40	10,4	9,4	43,8	21,2
Hycrete, vct=0.40	8,6	9,0	12,2	9,9
Impregnerad, vct=0.40 (Isobutyltriethoxysilan)	-	10,7	10,7	-
Referens, vct=0.55	-	-	44,3	-
Hycrete, vct=0.55	13,1	26,4	-	-
Impregnerad, vct=0.55 (Isobutyltriethoxysilan)	-	-	-	-

Reflektioner från provningen

R04 (vct=0.4, referens)

Resultatet för en av provkropparna (märkt nr. 3) skiljer sig markant från de andra två (Protokoll I). Provkropparna märkta nr. 1 och 2 visar en förväntad migrationskoefficient för en betong med vct 0.4, provkropp nr. 3 visar en avsevärt större migrationskoefficient än förväntat.

H04 (vct=0.4, inblandad Hycrete)

Resultaten visar en lite lägre migrationskoefficient jämfört med R04 (nr. 1 och 2). Något högre diffusionskoefficient uppmättes för provkropp märkt nr. 3 (Protokoll II).

R04 (vct=0.4, silanbehandlad)

Två anmärkningar på dessa resultat:

- 1) Provkropp nr. 1 visade en något högre initial strömstyrka vid samma pålagda spänning jmf. med nr 2 och 3, dock inom ett rimligt interval med hänsyn till förekommande variationer (Protokoll III). Från ena sidan av provkropp nr.1 (mätpunkterna 1 till 3) trängde kloriderna igenom hela provkroppen.
- 2) Silanbehandlingen gav inte en lägre migrationskoefficient. Antingen så är inte silanbehandlingen "korrekt utförd" eller så förstör provningsmetodiken silanbehandlingsens effekt eller så ger inte migrationsförsöken en rättvisande bild av silanbehandlingsens funktion.

R55 (vct=0.55, referens)

Resultaten för provkropp nr. 3 (Protokoll IV) visar en oväntad hög migrationskoefficient. Erfarenhetsmässigt så är den nästa dubbelt så hög än förväntad (motsvarar mer en betong med vct ~0.7). Varför kloriderna gick rakt igenom provkropparna 1 och 2 trots en låg pålagd spänning är svårt att förklara.

H55 (vct=0.55, inblandad Hycrete)

Vi fick resultat bara för provkropp nr. 2 (Protokoll V), denna migrationskoefficient motsvarar det man kan förvänta sig för en betong med samma vct som är obehandlad. Åter är det svårt att förklara varför kloriderna går igenom vid vissa ställen i provkropparna 1 och 3.

R55 (vct=0.55, silanbehandlad)

En låg initialström mellan 10-18 mA (vid spänningen 30V) medför enligt metoden att provspänningen bör vara 50V. Detta resulterade i kloridinträngning igenom samtliga provkroppar (Protokoll VI). Detta kan stödja att silanbehandlingen förstörs av provningsförfarandet (pålagda spänningen) eller att migrationsförsöken inte ger en rättvisande bild av silanbehandlingsens funktion.

Tryckhållfasthet

Tryckhållfastheten provades efter 28 dygn på utborrade cylindrar. Tabell 6 visar resultatet och i Bilaga-tryckhållfasthet redovisas hela testprotokollet.

Tabell 6: 28 dygns tryckhållfasthet på utborrade cylindrar. R står för referens, H för inblandad Hycrete och acc för accelerator. 55 respektive 04 står för vct=0,55 respektive 0,40.

Prov nr	Tryckhållfasthet f_c MPa
R55 01:01	39,1
R55 01:02	38,6
H55 02:01	37,2
H55 02:02	37,3
H04acc 1:1	51,0
H04acc 1:2	51,4
H04 4:1	56,7
H04 4:2	52,9
R04acc 11:1	42,8
R04acc 11:2	40,4
R04 14:1	52,8
R04 14:2	50,7

Ur Tabell 6 kan följande utläsas:

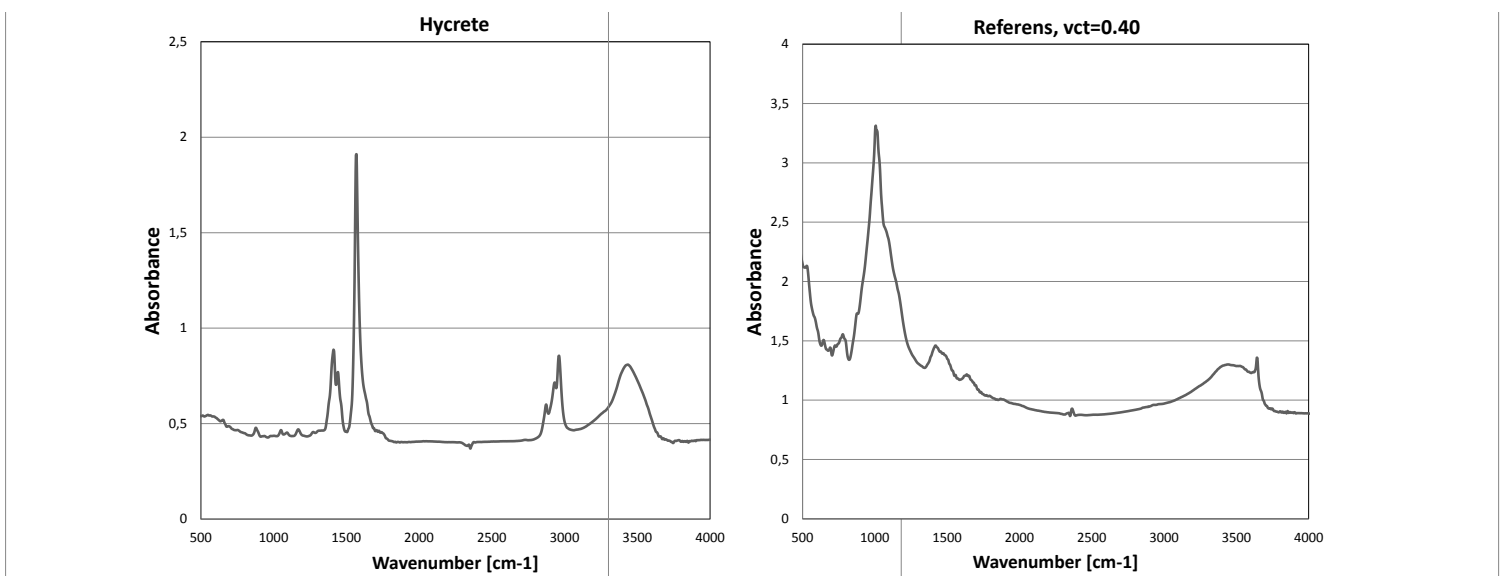
- Tillsatsen av Hycrete har gett en något lägre 28 dygns tryckhållfasthet för vct=0,55. Detta är något som tillverkaren också informerat om kan ske. För vct=0,40 ses ingen sådan effekt.
- Användandet av acceleratoren har gett en kraftig sänkning av 28 dygns tryckhållfasthet. För vct=0,40 ca 20 %. Med Hycrete inblandat fås samma effekt av acceleratoren men inte i samma utsträckning.

FTIR(Fourier Transform InfraRed) – spektroskopi

Syftet med FTIR-analysen var att i första hand se i fall det var möjligt att detektera tillsatsen av Hycrete i betongen och i andra hand kvantifiera densamma.

FTIR-spectrum för ”ren” Hycrete

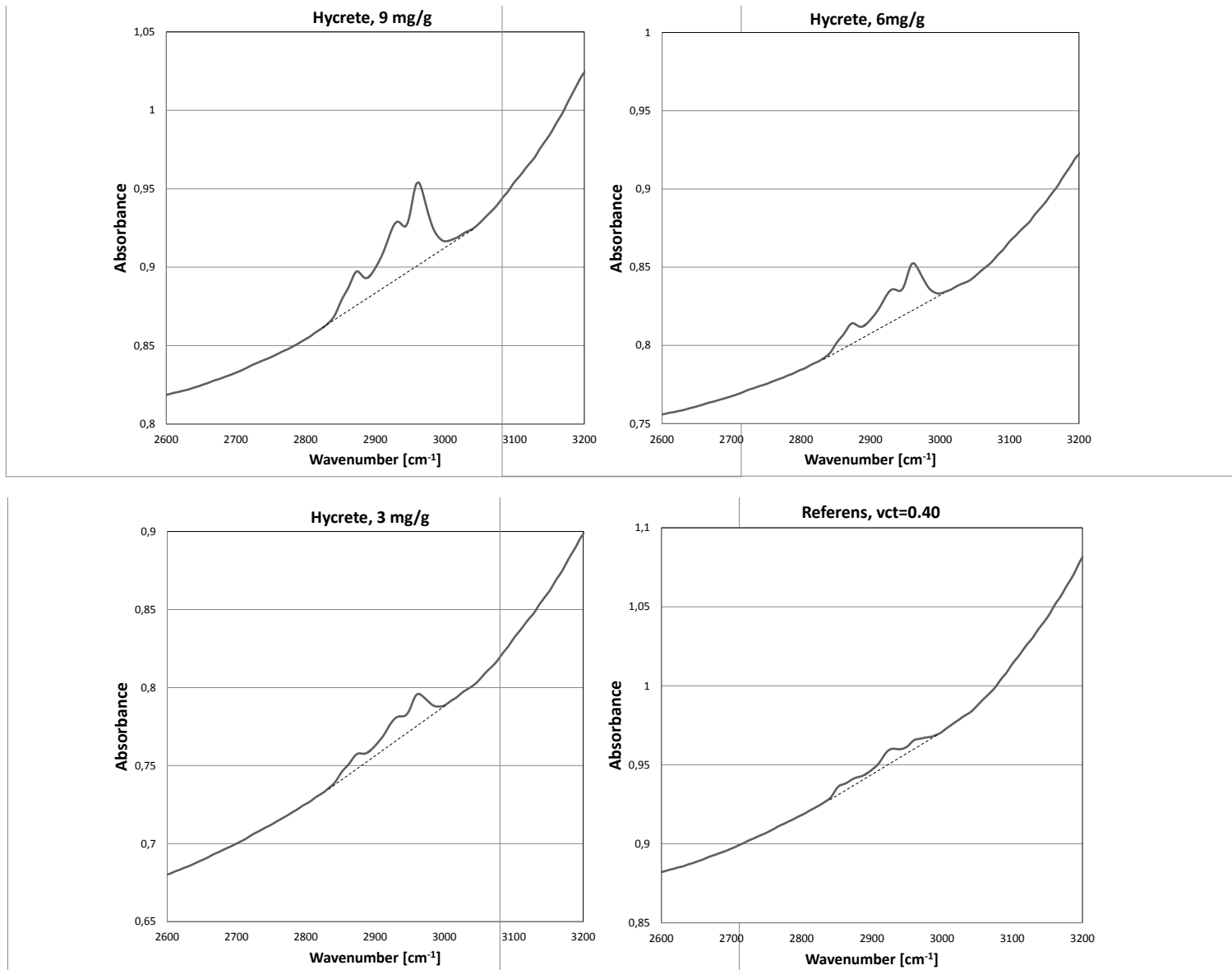
I första steget togs ett FTIR-spektrum för referensbetong utan tillsats fram tillsammans med ett spektrum för ”ren” Hycrete. Genom att jämföra dessa spektrum är det möjligt se i vilken region av spektrumet det bör gå att detektera tillsatsen och vilka koncentrationer av materialet som bör användas för att få en så tydlig signal som möjligt. Figur 17 visar spektrumet för Hycrete och spektrumet för referensbetongen med vct=0,40. Tre tydliga toppar framträder i regionen 2800-3000 cm^{-1} . Dessa har använts för att detektera tillsatsen.



Figur 17: FTIR-spektrum för ren Hycrete respektive referensbetong med vct=0,4. I regionen 2800-3000 cm^{-1} ses tre tydliga toppar för Hycrete vilka saknas i spektrumet för betongen.

FTIR-spektrum för referensserien med känd koncentration

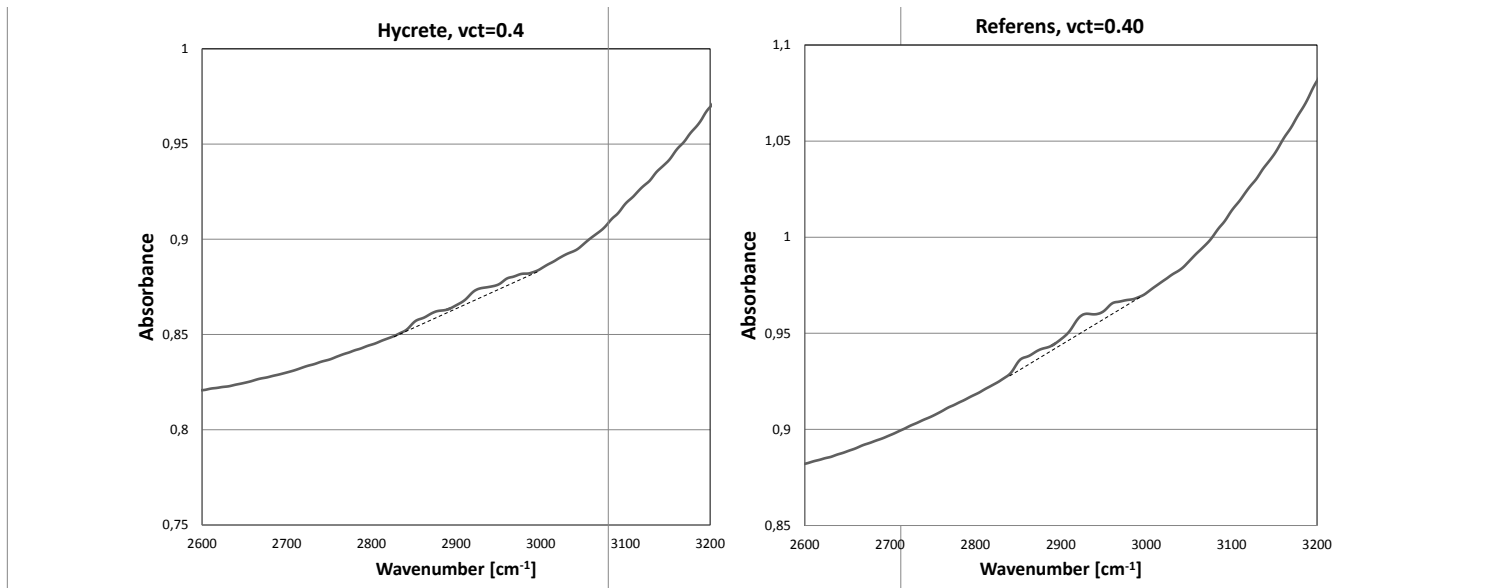
I andra steget tillverkades en referensserie med kända koncentrationer av Hycrete. I Figur 18 visas spektrumet för 3,6 och 9 mg/g betong samt en referens utan inblandning. Det framgår tydligt att signalen från tillsatsen blir starkare med en högre koncentration men också att referensen har ett organiskt innehåll som ger utslag i analysen. Här kan t.ex. flyttillsatsen som i sprutbetong ofta är relativt stor spela in. I övrigt noterades vid provprepareringen att tillsatsen var något svår att blanda in i torrt tillstånd vilket i vissa fall medförde en något ojämn koncentration i provet. I de riktiga provsprutningarna användes dock tillsatsen i flytande form vilket bör ge en bättre dispergering.



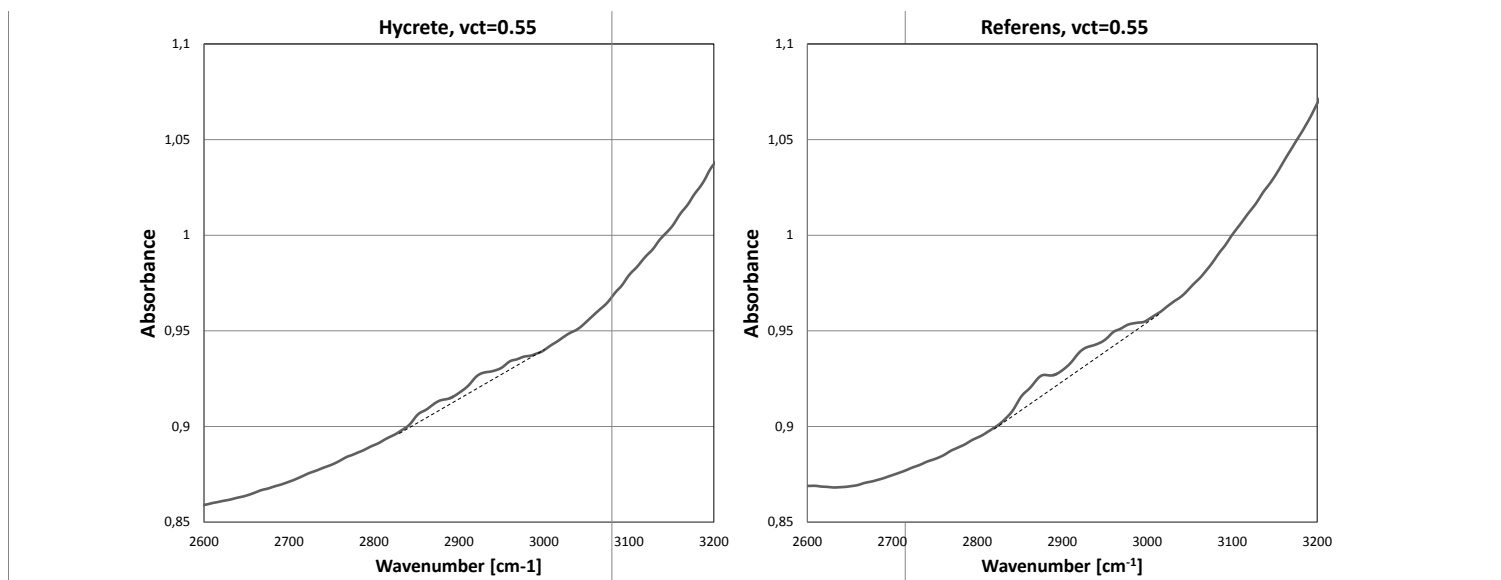
Figur 18: FTIR-spektrum för referensserien respektive referensbetongen med vct=0,4. De inblandade koncentrationerna som visas är 3,6 och 9 mg/g betong.

FTIR-spektrum för sprutbetong med inblandad Hycrete

I Figur 19 och 20 visas stickprov från sprutad betong där Hycrete blandats in och jämförs med referensprov. Tyvärr verkar koncentrationerna vara så låga att de inte går att särskilja från referensproverna, med denna mätmetod. Hade referensen saknat andra organiska tillsatser hade möjligtvis resultatet sett annorlunda ut. I (Johansson-Selander m.fl., 2010) har de koncentrationer som krävs av en impregnering för att okulärt notera en vattenavvisande effekt legat kring 1,5 mg (polysiloxan)/g (betong). Hycrete har dock en annan kemisk sammansättning och utifrån dessa resultat verkar den koncentration som krävs för att notera en vattenavvisande effekt vara lägre. Å andra sidan är den okulära effekten av Hycrete inte heller lika markant som hos en vattenavvisande impregnering vilket framgår av Figur 4. Sammantaget talar detta för att metoden måste utvecklas för att kunna användas till koncentrationsbestämningar för Hycrete.



Figur 19: Exempel på FTIR-spektrum för Hycrete respektive referensbetongen med vct=0,4.



Figur 20: Exempel på FTIR-spektrum för Hycrete respektive referensbetongen med vct=0,55.

Diskussion & Slutsatser

Nedbrytningsmekanismer på betongkonstruktioner är oftast kopplade till fuktnivån inne i den hårdnade betongen. Fukt skapar förutsättning för armeringskorrosion samt spjälkning pga. korrosion, frost, kloridangrepp, alkali-kiselsyrareaktioner och urlakning. Korrosionsprocesser kräver både vatten och syre för att starta. Genom att förändra betongens fuktmekaniska egenskap från *hydrofil* (vattenattraherande) till *hydrofob* (vattenavstötande) skapas en miljö med lägre fuktnivå där korrosionsprocesser inte har samma möjlighet att initieras. I detta projekt har en vattenavvisande tillsats provats i sprutbetong för att undersöka om denna tillsats specifikt är ett alternativ i utsatta miljöer men slutsatserna gäller också om denna typ av produkter kan vara användbara.

Vid provsprutningarna observerades inget avvikande från normal sprutning vilket bör ses som en positiv egenskap då tillsatsen därmed inte bör medföra några förändrade rutiner. Okulärt kunde också en markant vattenavvisande effekt noteras på spräckta betongytor om än inte lika stark som vid en vattenavvisande impregnering. Med en tillsats fås dock en vattenavvisande effekt genom hela matrisen och inte bara några få millimetrar vid ytan som vanligtvis är resultatet med en impregnering.

Från resultaten är det framförallt två egenskaper som framträder:

- Tillsatsen av Hycrete reducerar vattenabsorptionen markant och ju porösare betongen är desto större är effekten.
- Uttorkningen går långsammare i en sprutbetong med en tillsats av Hycrete och även här är effekten tydligare för en porös betong än en tät.

En reducerad vattenabsorption hos betongen bör vara gynnsam och bromsa upp flera typer av skademekanismer. I projektet valdes att undersöka tillsatsens effekt på frostbeständighet och kloridtransport.

För Frostbeständigheten noterades ingen nämnvärd effekt och spridningen i resultaten för proverna med högt vct var stor (vct=0,55). En möjlig förklaring till detta kan vara att den långsamma uttorkningen som Hycrete ger medför att utgångsläget inför provningen kan vara ofördelaktigt. Av detta skäl valdes en alternativ konditionering men utan att markant förbättra resultatet. Detta vore dock intressant att undersöka vidare där fukttinnehållet inför provningen varierar betydligt mer.

För kloridtransporten valdes migrationsförsök vilket verkar ha varit en olämplig provningsmetod för en vattenavvisande tillsats och impregnering. Den pålagda spänningen påverkar troligtvis transporten genom det hydrofoba materialet på ett sådant sätt att fel egenskap undersöks. Tillsammans med en stor spridning i porositeten hos de sprutade provkropparna är resultaten svåra att tolka. Med facit i hand borde ett diffusionsförsök använts i stället där vi vet att t.ex. vattenavvisande impregneringar går att utvärdera på ett mycket bra sätt.

FTIR-analysen visade att det går bra att urskilja Hycrete från sprutbetongen för proverna med känd koncentration (referensserien) men att stickproverna från provsprutningarna visade så låga koncentrationer att de inte gick urskilja från övriga organiska tillsatser. T.ex. flyttillsatsen kan ha en sådan effekt.

Tryckhållfastheten (28 dygns) påverkades i mycket liten utsträckning av tillsatsen.

I övrigt noterades att användandet av en accelerator ger flera negativa effekter relaterade till beständigheten. Betongen blir öppnare för transport av vatten och skadliga ämnen lösta i vatten. Hållfastheten och frostbeständigheten blir lägre. Orsakerna till detta kan vara flera men den ökade vattenmängden i sprutbetongen som acceleratoren medför spelar in och troligtvis även det förändrade hydratationsförloppet. För att kunna dra slutsatser om detta krävs studier av mikrostrukturen vilket inte ryms i detta projekt.

Hydrofoba tillsatser i betong är intressant och kan ha många användningsområden och det vore intressant att som ovan nämnts undersöka kloridtransporten i ett diffusionsförsök och även titta på frostbeständigheten med olika konditioneringsförfaranden.

Referenser

Gerdes A.H., Betschart S. and Wittmann F. H., Quality Control by FT-IR-Spectroscopy, Proceedings, Hydrophobe II- 2nd International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials, Zürich, Switzerland, September 10-11, Aedificatio Publishers, pp. 237-244. 1998

Hunkeler F., (2005) *Corrosion in Reinforced Concrete Structures, Chapter 1, processes and mechanisms*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.

Johansson-Selander A., Janz M., Silfwerbrand J., & Trägårdh J., "Penetration profiles of Water Repellent Agents in Concrete as a function of Time - Determined with FTIR-Spectrometer", Int. journal Nordic Concrete Research, Publication 41, No 1, 2010, pp 51-60.

Johansson A., Janz M., Silfwerbrand J., & Trägårdh J., "Penetration Depth for Water Repellent Agents on Concrete as a Function of Humidity, Porosity and Time", International Journal on Restoration of Buildings and Monuments, Vol. 13, No. 1, 2007, pp. 3-16.

Justnes H., Low water permeability through hydrophobicity, COIN Project report 1, 2008

Meier St. J. & Bäuml M. F., Internal Impregnation of Concrete: Experimental Results and Application Experiences, Proceedings, Hydrophobe IV, Stockholm, Sweden, April 12-13, 2005, pp. 133-144.

Rixom R., & Mailvaganam, Chemical admixtures for concrete", Chapter 4: "Concrete Dampproofers" 3rd Edition 1999, ISBN 0-419-22520.

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.

Wittmann, F.H., Beltzung, F. and Meier, S.J., (2005) Shrinkage of Water Repellent Treated Cement-Based Materials, Hydrophobe IV – 4th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials, Stockholm, Sweden, Aedificatio publishers, April 12-13, pp. 125-132.

Provningmetoder som utförts enligt standard

Saltfrostprovning, SS 13 72 44

Kloridmigration, NT Build 492

Tryckhållfasthet, SS-EN 12390-3:2009.

Densiteten, SS-EN 12390-7:2009.

Patent som skyddar produkten som använts

US-Patent 7261923, Corrosion resistant composition for treatment of hardened concrete structures (<http://www.google.de/patents/US7261923>)

US-Patent 7381252, Anti-corrosion additive composition for concrete compositions for use in reinforced concrete structures (<http://www.google.de/patents/US7381252>)

US-Patent 7407535, Corrosion resistant composition for treatment of concrete structures (<http://www.google.de/patents/US7407535>)

US-Patent 7498090, Combination including corrosion resistant composition (<http://www.google.de/patents/US7498090>)

US-Patent 7513948, Autogenous healing of cracks in concrete structures (<http://www.google.de/patents/US7513948>)

Information från tillverkaren av produkten

Mailkorrespondans med Philippe Rhodes vid Hycrete Inc.

Hycrete X1002, Produktdatablad, 07/06/09, (www.hycrete.com)

Hycrete M1000 Dry Powder, Produktdatablad, 07/06/09, (www.hycrete.com)

Publikationer i projektet

Selander, A., & Davant, N., "Hydrofob sprutbetong – något för framtiden?". Svensk Bergs- & Brukstidning, CBI-rapporten 5-6 Dec 2013.

Presentationer i projektet

Davant, N., " Hydrofob sprutbetong för minskad fukttransport", Tunneldagarna – Projektering och hållbart byggande, Stockholm 20-21 maj, 2014.

Bilaga-frysprovning

Konditionering i 65 % RF innan frostprovningen startade.

Prov märkt	Avflagnat material (kg/m ²) efter				
	7	14	28	42	56 cykler
H 04 acc 1:5	0,03	0,06	0,14	0,21	0,31
H 04 acc 1:8	0,03	0,04	0,09	0,15	0,19
H 04 4:8	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
H 04 4:10	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
H 55 2:6	0,03	0,06	0,20	0,55	1,00
H 55 2:8	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03

Prov märkt	Avflagnat material (kg/m ²) efter				
	70	84	98	112 cykler	
H 04 acc 1:5	0,32	0,35	0,36	0,36	

Konditionering i 100 % RF innan frostprovnigen startade.

Prov märkt	Avflagnat material (kg/m ²) efter				
	7	14	28	42	56 cykler
R 04 14:6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
R 04 14:7	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
R 04 acc 11:9	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06
R 04 acc 11:10	0,04	0,08	0,13	0,14	0,17
H 55 2:7	0,01	0,04	0,23	0,80	1,10
H 55 2:9	0,02	0,11	0,51	1,24	2,04
R 55 1:6	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
R 55 1:8	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
H 04 4:3	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
H 04 4:6	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
H 04 acc 1:3	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
H 04 acc 1:4	0,01	0,02	0,12	0,15	0,17

Bilaga-Tryckhållfasthet

Datum 2013-09-12

Tryckhållfasthet cylindrar SS-EN 12390-3

Sign Alex EB

Projektnr PX2066

6

Prov nr	Tryckhållfasthet f_c MPa	Densitet kg/m ³	Höjd h mm	Diameter d mm	h/d	Omräkningsfaktor		Massa g	Brottlast F kN	Anm.
						β_3	β_4			
R55 01:01	39,1	2090	97,0	94,1	1,03	0,988	1	1410,6	268,8	2013-04-24
R55 01:02	38,6	2090	93,5	94,2	0,99	1,002	1	1362,2	269,7	2013-04-24
H55 02:01	37,2	2050	95,4	94,3	1,01	0,996	1	1366,4	258,6	2013-04-24
H55 02:02	37,3	2070	95,6	94,3	1,01	0,996	1	1380,9	259,5	2013-04-24
H04acc 1:1	51,0	2220	93,7	93,9	1,00	1,000	1	1443	353,5	
H04acc 1:2	51,4	2210	93,3	94,3	0,99	1,002	1	1440	359,8	
H04 4:1	56,7	2240	93,4	94,3	0,99	1,002	1	1459	396,7	
H04 4:2	52,9	2230	93,5	94,2	0,99	1,002	1	1455	369,4	
R04acc 11:1	42,8	2180	93,4	94,3	0,99	1,002	1	1422	299,8	
R04acc 11:2	40,4	2170	93,1	94,3	0,99	1,002	1	1410	282,9	
R04 14:1	52,8	2240	93,8	94,3	0,99	1,002	1	1468	369,6	
R04 14:2	50,7	2210	93,5	94,3	0,99	1,002	1	1442	354,8	

Bilaga-kloridmigration

Protokoll I

Uppdragsgivare:	Anders Selander			
Uppdragsnr:	PX20666			
ProviD:	R04			
Ålder vid provstart, dygn:	41591			
Provnings datum:	2013-11-12			
Provav:	PS DB			
Medelvärde av D_{NTB492}:	21.2	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Standard avvikelse:	19.6	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Variationskoefficient:	92.4	%		
Provmärkning	1	2	3	
Diameter d	94	94	94	mm
Tjocklek L	51.0	52.0	51.0	mm
Kloridkoncentration c_0	10	10	10	NaCl%
Spänning U	25.0	25.0	25.0	V
Strömstyrka vid start I_i	51	48	118	mA
Temperatur vid start T_i	293.6	293.6	294.8	K
Provningsens löptid t	24.0	24.0	9.0	hr
Strömstyrka vid slut I_t	68	64	129	mA
Temperatur vid slut T_t	296.2	296.2	295.5	K
Genomsnittsinträngningsdjup x_d	18.6	16.6	28.4	mm
Migrationskoefficient D_{NTB492}	10.4	9.4	43.8	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Utvidgad mätosäkerhet ($k=2$)	0.32	0.32	1.03	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Individuella kloridinträngningsdjup				
Inträngningsdjup x_{d1}	15.4	18.8	26.1	mm
Inträngningsdjup x_{d2}	14.9	19.1	24.9	mm
Inträngningsdjup x_{d3}	17.9	15.5	32.4	mm
Inträngningsdjup x_{d4}	17.9	13.2	36.0	mm
Inträngningsdjup x_{d5}	18.7	14.8	31.1	mm
Inträngningsdjup x_{d6}	21.4	15.4	22.7	mm
Inträngningsdjup x_{d7}	23.9	19.4	25.4	mm
Anteckningar				

Protokoll II

Uppdragsgivare:	Anders Selander			
Uppdragsnr:	PX20666			
ProviD:	H04			
Ålder vid provstart, dygn:	41591			
Provnings datum:	2013-11-12			
Prov av:	PS DB			
Medelvärde av D_{NTB492}:	9.9	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Standard avvikelse:	1.9	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Variationskoefficient:	19.6	%		
Provmärkning	1	2	3	
Diameter d	94	94	94	mm
Tjocklek L	50.0	50.0	51.0	mm
Kloridkoncentration c_0	10	10	10	NaCl%
Spänning U	30.0	30.0	30.0	V
Strömstyrka vid start I_i	52	55	75	mA
Temperatur vid start T_i	293.6	293.6	293.6	K
Provningsens löptid t	24.0	24.7	24.7	hr
Strömstyrka vid slut I_t	76	82	117	mA
Temperatur vid slut T_t	297.4	297.4	297.4	K
Genomsnittsinträngningsdjup x_d	18.7	20.1	26.1	mm
Migrationskoefficient D_{NTB492}	8.6	9.0	12.2	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Utvidgad mätosäkerhet ($k=2$)	0.25	0.24	0.27	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Individuella kloridinträngningsdjup				
Inträngningsdjup x_{d1}	18.0	21.6	28.7	mm
Inträngningsdjup x_{d2}	17.7	19.5	26.8	mm
Inträngningsdjup x_{d3}	17.9	20.8	25.8	mm
Inträngningsdjup x_{d4}	18.4	19.4	26.0	mm
Inträngningsdjup x_{d5}	17.8	21.2	24.1	mm
Inträngningsdjup x_{d6}	18.6	20.4	24.8	mm
Inträngningsdjup x_{d7}	22.7	17.9	26.5	mm
Anteckningar				

Protokoll III

Uppdragsgivare:	Anders Selander			
Uppdragsnr:	PX20666			
ProviD:	R04S			
Ålder vid provstart, dygn:	41591			
Provnings datum:	2013-11-12			
Prov av:	PS DB			
Medelvärde av D_{NTB492}:	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Standard avvikelse:	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Variationskoefficient:	#VÄRDEFEL!	%		
Provmärkning	1	2	3	
Diameter d	94	94	94	mm
Tjocklek L	50.0	52.0	51.0	mm
Kloridkoncentration c_0	10	10	10	NaCl%
Spänning U	35.0	35.0	35.0	V
Strömstyrka vid start I_i	44	36	28	mA
Temperatur vid start T_i	293	293	293	K
Provnings löptid t	24.0	24.0	24.0	hr
Strömstyrka vid slut I_t	143	90	96	mA
Temperatur vid slut T_t	298.4	298.4	298.4	K
Genomsnittsinträngningsdjup x_d		25.6	26.1	mm
Migrationskoefficient D_{NTB492}	#VÄRDEFEL!	10.7	10.7	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Utvidgad mätosäkerhet ($k=2$)	#VÄRDEFEL!	0.23	0.23	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Individuella kloridinträngningsdjup				
Inträngningsdjup x_{d1}	0.0	22.8	33.6	mm
Inträngningsdjup x_{d2}	0.0	20.1	21.8	mm
Inträngningsdjup x_{d3}	0.0	22.9	23.2	mm
Inträngningsdjup x_{d4}	29.9	22.2	24.3	mm
Inträngningsdjup x_{d5}	24.8	23.3	24.7	mm
Inträngningsdjup x_{d6}	24.6	33.1	25.7	mm
Inträngningsdjup x_{d7}	28.7	34.6	29.5	mm
Anteckningar	Prov 1 x_{d1} - x_{d3} kloriderna trängde igenom hela provkroppen			

Protokoll IV

Uppdragsgivare:	Anders Selander			
Uppdragsnr:	PX20666			
ProviD:	R55			
Ålder vid provstart, dygn:	41598			
Provnings datum:	2013-11-20			
Prov av:	PS DB			
Medelvärde av D_{NTB492}:	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Standard avvikelse:	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Variationskoefficient:	#VÄRDEFEL!	%		
Provmärkning	1	2	3	
Diameter d	94	94	94	mm
Tjocklek L	51.0	50.0	52.0	mm
Kloridkoncentration c_0	10	10	10	NaCl%
Spänning U	15.0	15.0	15.0	V
Strömstyrka vid start I_i	71	84	68	mA
Temperatur vid start T_i	293	293	293	K
Provningsens löptid t	24.0	24.0	24.0	hr
Strömstyrka vid slut I_t	79	87	81	mA
Temperatur vid slut T_t	295	295	295	K
Genomsnittsinträngningsdjup x_d			43.1	mm
Migrationskoefficient D_{NTB492}	#VÄRDEFEL!	#VÄRDEFEL!	44.3	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Utvidgad mätosäkerhet ($k=2$)	#VÄRDEFEL!	#VÄRDEFEL!	1.01	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Individuella kloridinträngningsdjup				
Inträngningsdjup x_{d1}	0.0	0.0	44.0	mm
Inträngningsdjup x_{d2}	0.0	0.0	42.3	mm
Inträngningsdjup x_{d3}	0.0	0.0	41.1	mm
Inträngningsdjup x_{d4}	0.0	0.0	41.0	mm
Inträngningsdjup x_{d5}	0.0	0.0	42.8	mm
Inträngningsdjup x_{d6}	0.0	0.0	44.5	mm
Inträngningsdjup x_{d7}	0.0	0.0	46.1	mm
Anteckningar	Prov 1 och 2 klorider trängde igenom provkroppen			

Protokoll V

Uppdragsgivare:	Anders Selander			
Uppdragsnr:	PX20666			
ProviD:	H55			
Ålder vid provstart, dygn:	41598			
Provnings datum:	2013-11-20			
Prov av:	PS DB			
Medelvärde av D_{NTB492}:	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Standard avvikelse:	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Variationskoefficient:	#VÄRDEFEL!	%		
Provmärkning	1	2	3	
Diameter d	94	94	94	mm
Tjocklek L	50.0	51.0	51.0	mm
Kloridkoncentration c_0	10	10	10	NaCl%
Spänning U	20.0	20.0	20.0	V
Strömstyrka vid start I_i	57	56	66	mA
Temperatur vid start T_i	293	293	293	K
Provningsens löptid t	24.0	24.0	24.0	hr
Strömstyrka vid slut I_t	86	82	93	mA
Temperatur vid slut T_t	297	297	297	K
Genomsnittsinträngningsdjup x_d	19	35.8		mm
Migrationskoefficient D_{NTB492}	13.1	26.4	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Utvidgad mätosäkerhet ($k=2$)	0.43	0.58	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Individuella kloridinträngningsdjup				
Inträngningsdjup x_{d1}	21.2	40.9	0.0	mm
Inträngningsdjup x_{d2}	16.5	44.3	23.0	mm
Inträngningsdjup x_{d3}	17.1	33.6	19.4	mm
Inträngningsdjup x_{d4}	18.7	27.0	19.0	mm
Inträngningsdjup x_{d5}	21.8	32.2	20.2	mm
Inträngningsdjup x_{d6}	0.0	35.6	23.3	mm
Inträngningsdjup x_{d7}	0.0	37.1	0.0	mm
Anteckningar	Prov 1 x_{d6} - x_{d7} klorider igenom hela provkroppen Prov 3 x_{d1} och x_{d7} klorider igenom hela provkroppen			

Protokoll VI

Uppdragsgivare:	Anders Selander			
Uppdragsnr:	PX20666			
ProviD:	R55S			
Ålder vid provstart, dygn:	41598			
Provnings datum:	2013-11-20			
Prov av:	PS DB			
Medelvärde av D_{NTB492}:	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Standard avvikelse:	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Variationskoefficient:	#VÄRDEFEL!	%		
Provmärkning	1	2	3	
Diameter d	94	94	94	mm
Tjocklek L	51.0	52.0	51.0	mm
Kloridkoncentration c_0	10	10	10	NaCl%
Spänning U	50.0	50.0	50.0	V
Strömstyrka vid start I_i	34	18	26	mA
Temperatur vid start T_i	293	293	293	K
Provningsens löptid t	24.0	24.0	24.0	hr
Strömstyrka vid slut I_t	430	330	400	mA
Temperatur vid slut T_t	302.5	302.5	308.5	K
Genomsnittsinträngningsdjup x_d				mm
Migrationskoefficient D_{NTB492}	#VÄRDEFEL!	#VÄRDEFEL!	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Utvidgad mätosäkerhet ($k=2$)	#VÄRDEFEL!	#VÄRDEFEL!	#VÄRDEFEL!	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Individuella kloridinträngningsdjup				
Inträngningsdjup x_{d1}	0.0	0.0	0.0	mm
Inträngningsdjup x_{d2}	0.0	0.0	0.0	mm
Inträngningsdjup x_{d3}	0.0	0.0	0.0	mm
Inträngningsdjup x_{d4}	0.0	0.0	0.0	mm
Inträngningsdjup x_{d5}	0.0	0.0	0.0	mm
Inträngningsdjup x_{d6}	0.0	0.0	0.0	mm
Inträngningsdjup x_{d7}	0.0	0.0	0.0	mm
Anteckningar	Kloridinträngning genom hela provkroppen samtliga 3st pro			