

11134

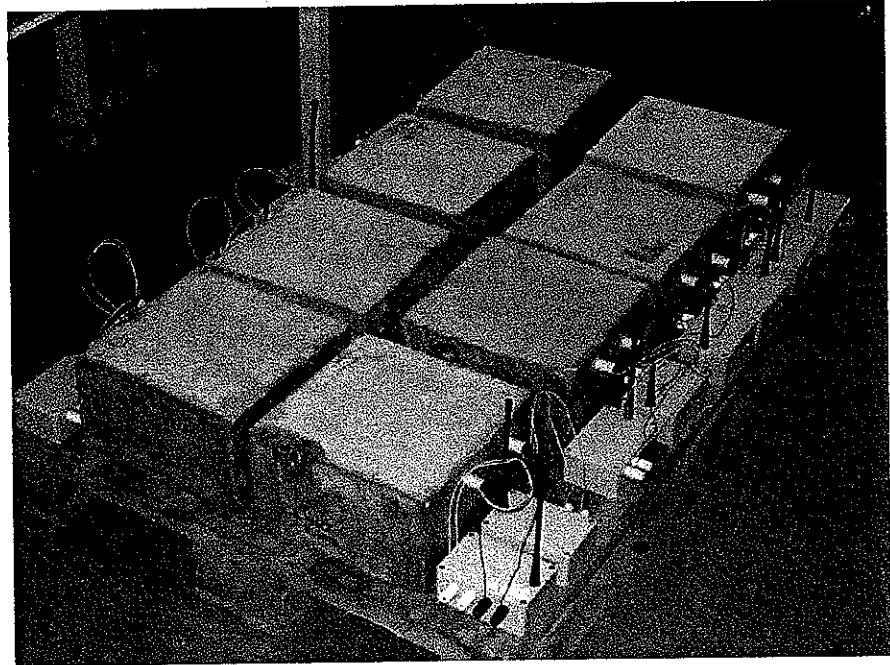
HÅLLBARA BETONGKONSTRUKTIONER

SBUF-rapport nr 11134

Forskningsrapport

Datum
2004-03-18

Författare
Iad Saleh
Teknik
Fiyksdalsbacken 1
Box 49
123 21 FARSTA
Tel: 08-683 43 64
Fax: 08-604 22 80



Förord

Beständigheten hos en befintlig betongkonstruktion samt beständigheten på en efterföljande reparation har en avgörande betydelse för livslängden och ekonomin. För den totala ekonomin är det viktigt att optimera de tekniska lösningar som avses, framförallt med avseende på lösningar som ger en tillräckligt lång livslängd, men utan "överkvalitet". Underhåll och reparation av betongkonstruktioner har blivit en mycket viktig del inom dagens "recycle" tänkande samt fokusering från nybyggnad till ombyggnad.

Impregnering av betong är en av de ytbehandlingsmetoderna som används mest frekvent. Metoden utförs ofta för att minska fuktrinträngningen i betongen samt även torka ut betongens yta. I och med att betongen torkas ut försvåras inträngning av aggressiva ämnen som salter. Impregneringens effekt med avseende på uttorknings- och kloridprofilen i betong är dåligt undersökta. Kunskapen om mekanismerna för detta samt tidsförloppet för uttorkningen underlättar att bedöma både impregneringens och hela reparationssystemets funktion. Detta i sin tur medför att vi bättre kan bedöma en konstruktions kommande och återstående livslängd med eller utan impregnering.

Denna rapport behandlar impregneringens roll i ordinär- och självkompakterande betong för hus- och anläggning. Den del som behandlar den självkompakterande betongen återfinns under bilaga 2 och har utförts inom ramen för ett examensarbete med titeln "Impregneringens inverkan på fuktprofilen, kloridinträngningen och frostbeständigheten i självkompakterande betong".

Projektet har utförts under 2002-2003 med projektanslag från SBUF. Ett stort tack vill vi rikta till alla som hjälpt till i arbetet eller på annat sätt bidragit med värdefulla kommentarer eller synpunkter.

Styrgruppen har varit sammansatt enligt följande:

Karin Pettersson	Skanska Sverige AB
Iad Saleh	Skanska Sverige AB
Patrik Groth	NCC

Farsta i februari 2004
Iad Saleh

Sammanfattning

Beständigheten hos en befintlig betongkonstruktion samt beständigheten på en efterföljande reparation har en avgörande betydelse för livslängden och ekonomin. Underhåll och reparation av betongkonstruktioner har därför blivit en mycket viktig del inom dagens "recycle" tänkande samt fokusering från nybyggnad till ombyggnad. Impregnering av betong är en av de ytbehandlingsmetoderna som används mest frekvent. Metoden utförs ofta för att minska fuktinträngningen i betongen samt även torka ut betongens yta. I och med att betongen torkas ut försvåras inträngning av aggressiva ämnen som salter. Impregneringens effekt med avseende på uttorknings- och kloridprofilen i betong är mindre undersökta. Kunskapen om mekanismerna för detta samt tidsförloppet för uttorkningen underlättar att bedöma både impregneringens och hela reparationssystemets funktion. Detta i sin tur medför att vi bättre kan bedöma en konstruktions kommande och återstående livslängd med eller utan impregnering.

Behovet att kart- och klarlägga befintliga livslängds- och reparationsmetoders teknologi och ekonomi är stort. Den långsiktiga målsättningen med detta projekt är att bygga upp bättre kunskap kring livslängds- och underhållsbedömning av befintliga och nybyggda betongkonstruktioner vilket kan resultera i mindre ekonomiska och tidskrävande underhålls- och reparationssystem.

Syftet med denna undersökning var bland annat att ge kompletterande information till befintliga livslängdsmodeller med avseende på långtidseffekter av ytbehandlingar. Denna information ger möjlighet till säkrare bedömningar med avseende på nedbrytningsmekanismer som frost och korrosion. Nödvändigheten av en eventuell ytbehandling på höga betongkvaliteter har också utretts.

Denna undersökning omfattar en studie om effekten av ytbehandling på höga och låga betongkvaliteter, både vanlig- (vibrerad) och självkompakterande betong. Undersökningen är uppdelad i två delar där den första delen behandlar vanlig betong i form av husbyggnadsbetong med vct 0,69 och anläggningsbetong med vct 0,39. Den första delen utfördes inomhus på BTCs laboratorium. I den andra delen, som är ett examensarbete, studerades självkompakterande betong för husbyggnadskonstruktioner med vct 0,70 och anläggningskonstruktioner med vct 0,40. I detta fall förvarades samtliga provkroppar utomhus under en viss tid. Betongproverna behandlats med olika typer av impregneringsmedel i form av gel, kräm eller vätska. Samtliga betongprover har gjutits, efterbehandlats och analyserats vid BTCs betonglaboratorium i Farsta. Analyser har gjorts enligt bl a följande:

- Kloridmigration enligt NordTest-metoden NT 492 för båda betongtyperna. Testet utfördes vid SP i Borås.
- Fuktprofiler med hjälp av Skanskas BetongDatorn Fukt för båda betongtyperna.
- Frostbeständighet enligt SS 13 72 44 för den självkompakterande betongen. Testet utfördes vid BTCs laboratorium i Farsta.
- Karboniseringsdjup enligt SS 13 72 42 för båda betongtyperna. Testet utfördes vid BTCs laboratorium i Farsta.
- Inträngningsdjup av impregneringsmedel för båda betongtyperna.

I den vibrerade betong erhöles ingen karbonatisering alls, oavsett om betongen impregnerats eller ej. Impregneringen hade däremot god inverkan på anläggningsbetong med avseende på kloridinträngning och fukt, då täckskiktet ej överstiger 35mm. Vid större täckskikt (≥ 60 mm) anses impregnering ej nödvändigt. I husbyggnadskonstruktioner är det vanligtvis lägre täckskikt, vilket kan göra det mer befogat med impregnering. I detta fall hade impregneringen en god inverkan med avseende på fukt vilket kan innebära att konstruktioner

med täcksikt upp till 35mm kan impregneras som underhållsåtgärd med avseende på eventuell armeringskorrosion.

För den självkompakterande betong anses impregneringen ej nödvändigt för nya anläggningsbetonger då dessa uppvisar goda egenskaper med avseende på frost, kloridmigration och fukt. För anläggningskonstruktioner överstiger täcksiktet ofta 50mm, vilket gör impregneringen onödig. För husbyggnadskonstruktioner med täcksikt upp till 35mm är det dock mer motiverat då impregnering har en positiv inverkan på fuktprofilen. Vidare erhöles god effekt pga impregnering med avseende på kloridmigration och frost, men det är sällan husbyggnadskonstruktioner utsätts för denna typ av exponering.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	BAKGRUND	3
2	MÅLSÄTTNING OCH SYFTE	4
3	YTBEHANDLING AV BETONGKONSTRUKTIONER	5
5	PROVKROPPAR	6
5.1	BETONGSAMMANSÄTTNING.....	6
5.2	GJUTNING OCH LAGRING AV PROVKROPPAR.....	6
6	UTFÖRDA MÄTNINGAR	7
6.1	ALLMÄNT.....	7
6.2	KARBONATISERING OCH INTRÄNGNINGSDJUP.....	8
6.3	KLORIDMIGRATION.....	9
6.4	FUKTPROFILER.....	9
7	RESULTAT	12
7.1	KARBONATISERING OCH INTRÄNGNINGSDJUP.....	12
7.2	KLORIDMIGRATION.....	12
7.3	FUKTPROFILER.....	13
8	DISKUSSION OCH BEDÖMNING	16
8.1	KARBONATISERING.....	16
8.2	INTRÄNGNINGSDJUP.....	16
8.2	KLORIDMIGRATION.....	17
8.3	FUKTPROFILER.....	18
9	SLUTSATSER	19
10	REFERENSER	20
11	BILAGOR	21
	BILAGA A: RESULTAT AV PROVNING AV KLORIDMIGRATIONSKOEFFICIENT ENLIGT NT BUILD 492.....	22
	BILAGA B: EXAMENSARBETET "IMPREGNERINGENS INVERKAN PÅ FUKTPROFILEN, KLORIDINTRÄNGNINGEN OCH FROSTBESTÄNDIGHETEN I SJÄLVKOMPakterande BETONG".	23

1 BAKGRUND

Beständigheten hos en befintlig betongkonstruktion samt beständigheten på en efterföljande reparation har en avgörande betydelse för livslängden och ekonomin. För den totala ekonomin är det viktigt att optimera de tekniska lösningar som avses, framförallt med avseende på lösningar som ger en tillräckligt lång livslängd, men utan "överkvalitet".

Beständighetsaspekter som frost och armeringskorrosion är relativt väl kända och modeller för att beräkna livslängder har utarbetats. De livslängdsmodeller som för närvarande används baseras i huvudsak på resultat som framkommit i laboratorium. Vissa, men få avstämningar mot verkligheten har gjorts t.ex genom att exponera provkroppar i "verkliga förhållanden". Värdet av dessa försök begränsas av att de är så kortvariga jämfört med avsedd livslängd för verkliga konstruktioner. Framförallt kan analysresultat från fältprover användas som kalibrering till dagens livslängdsmodeller. När det gäller självkompakterande betonger, SKB, saknas emellertid uppgifter från "verkliga förhållanden". Det skulle vara en styrka att kunna komplettera de befintliga beräkningsmodellerna med data från äldre SKB-konstruktioner samt SKB-konstruktioner som exponerats en kortare tid i "verkliga förhållanden".

Underhåll och reparation av betongkonstruktioner har blivit en mycket viktig del inom dagens "recycle" tänkande samt fokusering från nybyggnad till ombyggnad. Den totala livslängden för en betongkonstruktion inkluderar en viss del av underhållet och reparation varför detta område måste klarläggas bättre med avseende på teknologi och ekonomi. Utvecklingen inom reparations- och underhållsområdet har i hög grad präglats av "trial and error"-metoden.

Användningen av ytskydd har framförallt kommit att användas som en del i ett slags förenklat och därmed billigare reparationssystem för betong men används också på nya betongkonstruktioner t.ex broars saltutsatta delar. Samverkan mellan olika ytskydd och konstruktionsbetongen är dåligt undersökta med avseende på de mekanismer som styr olika nedbrytningsförlopp samt kompatibiliteten med konstruktionsbetongen.

Impregnering av betong är en av de ytbehandlingsmetoderna som används mest frekvent. Metoden utförs ofta för att minska fuktinträngningen i betongen samt även torka ut betongens yta. I och med att betongen torkas ut försvåras inträngning av aggressiva ämnen som salter. Impregneringens effekt med avseende på uttorknings- och kloridprofilen i betong är mindre undersökta. Kunskapen om mekanismerna för detta samt tidsförloppet för uttorkningen underlättar att bedöma både impregneringens och hela reparationssystemets funktion. Detta i sin tur medför att vi bättre kan bedöma en konstruktions kommande och återstående livslängd med eller utan impregnering.

Undersökningen omfattar en studie om effekten av ytbehandling på höga och låga betongkvaliteter. Framförallt studeras fuktprofiler i utvalda betongkvaliteter. Betongprover gjuts, efterbehandlas och analyseras vid BTCs betonglaboratorium.

Denna rapport har kompletterats med examensarbetet ”Impregneringens inverkan på fuktprofilen, kloridinträngningen och frostbeständigheten i självkompakterande betong” av Maria Olsson och Johan Sjödin vid Kungl Tekniska Högskolan i Stockholm. Examensarbetet redovisas i bilaga B.

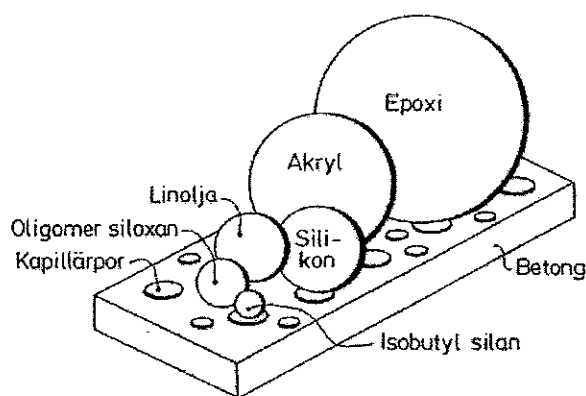
2 MÅLSÄTTNING OCH SYFTE

Behovet att kart- och klarlägga befintliga livslängds- och reparationsmetoders teknologi och ekonomi är stort. Den långsiktiga målsättningen med detta projekt är att bygga upp bättre kunskap kring livslängds- och underhållsbedömning av befintliga och nybyggda betongkonstruktioner vilket kan resultera i mindre ekonomiska och tidskrävande underhålls- och reparationssystem.

Syftet med denna undersökning är bland annat att ge kompletterande information till befintliga livslängdsmodeller med avseende på långtidseffekter av ytbehandlingar. Denna information ger möjlighet till säkrare bedömningar med avseende på nedbrytningsmekanismer som frost och korrosion. Nödvändigheten av en eventuell ytbehandling på höga betongkvaliteter kommer också att utredas.

3 YTBEHANDLING AV BETONGKONSTRUKTIONER

I takt med ett ökat reparations- och underhållsbehov för äldre betongkonstruktioner samt en större fokus på estetiken hos nyproducerade konstruktioner har intresset för målning och olika ytskydd ökat. Det är svårt för personal på arbetsplatsen att välja rätt produkt på grund av ett stor utbud av produkter samt kunskap om vilka egenskaper produkten måste ha för att ge en önskad funktion. Ytbehandlingar på betong brukar delas in i kategorier efter graden av inträngning i betongen och skiktjockleken hos det färdiga ytskyddet. Impregneringar kan delas in i icke filmbildande och helt eller delvis filmbildande. De icke filmbildande kan under gynnsamma betingelser tränga in åtskilliga mm i betongen. De helt eller delvis filmbildande tränger in mellan 1-3 mm och tätar porerna i vissa fall, se figur 3-1.



Figur 3-1 Jämförelse av molekylstorlekar (ej skalnligt)/7/

Betongkonstruktioner kan ges en utomordentligt god beständighet i de flesta miljöer genom rätt val av betongkvalitet. I vissa fall kan dock behövas någon form av ytskydd för att erhålla erforderlig beständighet och därmed avsedd livslängd. Detta kan gälla extremt aggressiva

miljöer, eller då konstruktionen från början erhållit otillräcklig beständighet, t ex på grund av för tunna täckskikt.

5 PROVKROPPAR

5.1 Betongsammansättning

De betongsammansättningar som har används motsvarar betong som används i praktiken med vattencementtal 0,39 och 0,69. Betongen med vct 0,39 var en anläggningsbetong med en uppmätt lufthalt på ca 6,7% medan betong med vct 0,69 var husbyggnadsbetong utan luft.

Delmaterialen i betongsammansättningarna var enligt tabell 5.1:

Tabell 5.1 Materialsammansättning, uppvägda mängder (torra material kg/m³)

Sammansättning	vct	Cement	Vatten	0-2	0-8	8-16	11-16	Flyt/ Vattenred. ¹	Luftporbildare ¹
Husbetong	0,69	295	204		853	-	863	0,80%	-
Anl-betong	0,39	440	171	137	735	851	-	1,10%	0,25%

¹% av cementvikten

5.2 Gjutning och lagring av provkroppar

Provkropparna göts på BTC:s betonglaboratorium i formar av dimensionen (250 x250 x 150 mm). Av sammansättningen med anläggningsbetong tillverkades 8 provkroppar och av husbyggnadsbetongen tillverkades 4 provkroppar. Samtliga provkroppar lagrades 7 dygn i vattenbad. Därefter 21 dygn i klimatkammare på $20 \pm 2^\circ \text{C}$ och RH $65 \pm 5 \%$.

Efter 28 dygns härdning impregnerades provkropparna på en av respektive provkroppss exponeringsyta.

De impregneringsmedel som användes både för mätning av kloridmigration och för framtagning av fuktprofil var följande:

- **StoCryl HG 200** (hydrofobering), som är en silanbaserad, tixotrop impregnering, ämnad för djupimpregnering. Totalt användes ca 800g/m^2 , och gel applicerades med spruta och mängden kontrollerades med en sk våtfilmsmätare.



Figur 5-1 Kub efter impregnering med gel

- **Sika Conservado-101** - en transparent silanbaserad impregneringsvätska. Använd mängd var $300\text{-}400\text{ g/m}^2$. Applicerades med hjälp av pensel i 2 lager enligt Sikas rekommendationer.
- **Sika Conservado-201 Creme** - en vattenburen impregnering i cremeform, baserad på silan. Använd mängd var $300\text{-}400\text{ g/m}^2$. Applicerades med hjälp av pensel i 1 lager enligt Sikas rekommendationer.

Se en närmare beskrivning av de olika impregneringarna i bilaga B, sidan 21.

De provkroppar som användes till framtagning av fuktprofil belades dessutom med bivax på alla sidor utom på den exponerade ytan. Detta för säkerställa ensidig uttorkning, se även figur 6-3.

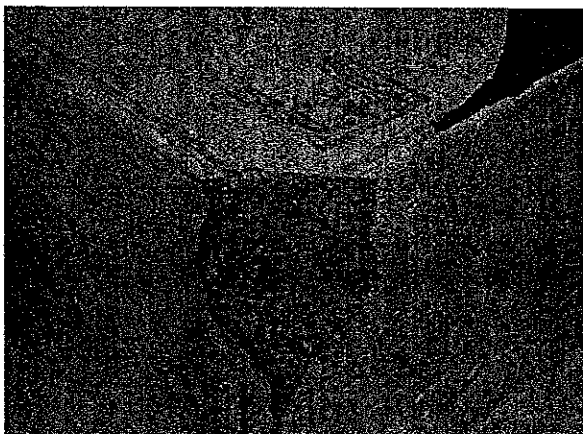
6 UTFÖRDA MÄTNINGAR

6.1 Allmänt

Mätningarna i undersökningen omfattade karbonatiseringsdjup, inträngningsdjup, kloridinträngning och fuktprofil

6.2 Karbonatisering och inträngningsdjup

Karbonatiseringsdjup undersöktes enligt SS 13 72 42. En hammare och en mejsel användes för att spräcka provkropparna varefter en 1%-fenolftaleinlösning sprayades på den uthuggna ytan. Färgas betongen röd betyder att ingen karbonatisering har skett. Eventuell ofärgad del mäts med linjal, se figur 6-1. Undersökningen gjordes då provkropparna var 5 månader gamla.



Figur 6-1 Mätning av karboniseringsdjup med indikatorvätska, fenolftalein.

Inträngningsdjupet för impregneringsmedlen uppmättes genom att de impregnerade kuberna sågades, varefter de sågade ytorna sprayades med vatten. Den oimpregnerade delen blir då mörkare medan den impregnerade delen förblir ljus. Den ljusa, impregnerade randen, uppmättes sedan med linjal, se figur 6-2.



Figur 6-2 Inträngning av impregneringsmedel, här illustrerat av den ljusare fronten vid den övre kanten i betogen.

6.3 Kloridmigration

Kloridmigrationskoefficienten har och uppmätts och utvärderats vid SP i Borås enligt NordTest-metoden, NT Build 492 för 4 stycken 100mm-cylindrar, som har borrats ur varsin kub. Ur varje cylinder kapades en skiva med tjockleken 50mm från den behandlade ytan. Skivorna har sedan använts i utvärderingen.

Samtliga 4 kuber har gjutits med normal (vibrerad) anläggningsbetong med vct 0,39, lufthalt 6,7%. Överytan på 3 av kuberna har behandlats med ett impregneringsmedel enligt kapitel 5.2. Den fjärde kuben var obehandlad.

6.4 Fuktprofiler

Vid utvärdering av fuktprofilen användes totalt 8 provkroppar med måtten 250x250x150mm. 4 av kropparna har gjutits med husbyggnadsbetong och de återstående 4 med anläggningsbetong med en lufthalt på ca 6,7%. 3 stycken provkroppar i vardera betongsammansättning behandlades efter 28 dygn med impregneringsmedel enligt tabell 6-1. En provkropp i vardera betongsammansättning var obehandlad och användes som referensprovkropp.

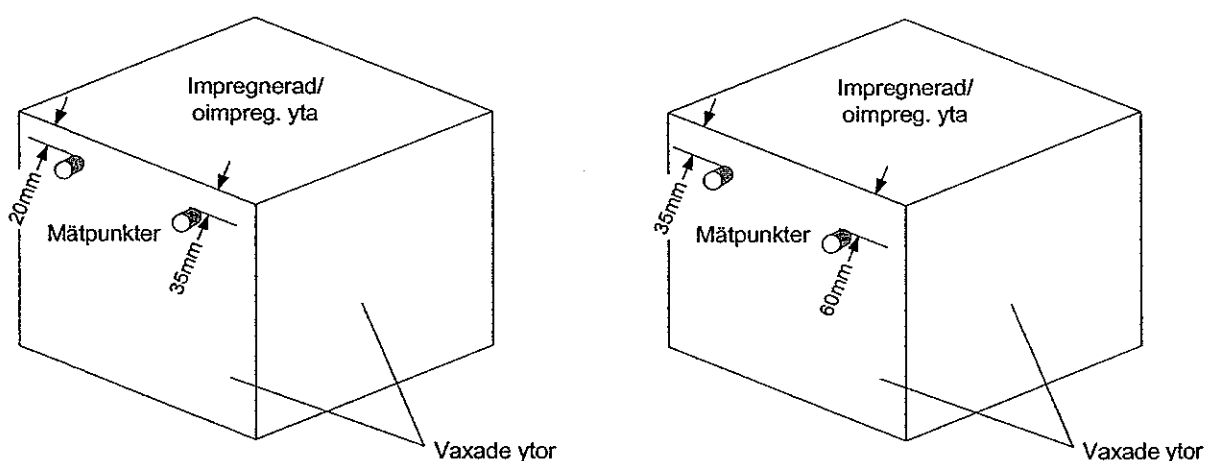
Tabell 6-1 Beteckning för betongkroppar för fuktprovning

	Beteckning	
	Husbyggnadsbetong, vct 0,69	Anläggningsbetong, vct 0,39
Betong utan impregnering	A	E
Betong med Gel	B	F
Betong med vätska	C	G
Betong med kräm	D	H

Efter impregnering borrades två hål med diametern 16mm i varje provkropp. Djupet varierade beroende på betongsammansättningen. Detta för att spegla täckskiktets tjocklek för huskonstruktioner respektive anläggningskonstruktioner. För husbyggnadsbetongen valdes 20mm och 35mm och för anläggningsbetongen valdes 35mm och 60mm, se tabell 6-2 och figur 6-3.

Tabell 6-2 Mätpunkternas avstånd till exponeringsyta och beteckning

	Avstånd till exponerad yta (mm)		Mätpunktens beteckning	
	Punkt 1	Punkt 2		
<i>Husbyggnadsbetong, vct 0,69</i>				
Betong utan impregneringsmedel	20	35	A20	A35
Betong med gel	20	35	B20	B35
Betong med vätska	20	35	C20	C35
Betong med kräm	20	35	D20	D35
<i>Anläggningsbetong, vct 0,39</i>				
Betong utan impregneringsmedel	35	60	E35	E60
Betong med gel	35	60	F35	F60
Betong med vätska	35	60	G35	G60
Betong med kräm	35	60	H35	H60



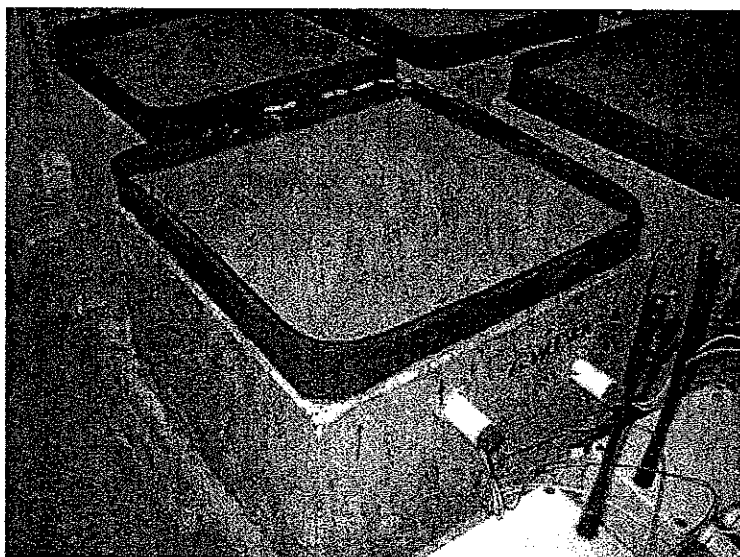
Figur 6-3 Mätpunkternas placering i mätkropparna. Den vänstra figuren är för husbyggnadsbetong och den högra för anläggningsbetong.

Efter utborrnig av hål följde vaxning med bivax av alla ytor utom exponeringsytan för att förhindra uttorkning och randeffekter. Därefter följde inmontering av mätsonder. Det mätsystem som användes var Skanska Asfalt och Betong:s BetongDatorm Fukt version 5.0, som är baserat på Humiguard/2/.

Samtliga kuber placerades i BTCs betonglaboratorium. Temperaturen i laboratoriet uppmättes till ca +20 °C och den relativa fuktigheten (RF) varierade mellan 40-50%. En gummlist limmades på exponeringsytan för att kvarhålla simulerad regnmängd och "vattnades" med den för månaden aktuella nederbörden se figurer 6-3 och 6-4.



Figur 6-3 Bevattning av kuber



Figur 6-4 Vattnad kub med inkopplad mätsond

Vattningen gjordes efter ca 3 veckor efter mätstart och enligt SMHI var medelnederbörden för juni månad för Stockholm ca 45mm. Vattnet fick ligga kvar tills det avdunstade alternativt

absorberades av betongen. Detta tog lång tid vilket gjorde att endast en omgång vattning var möjlig.

Mätningarna startades den 14/5-2003 slutade efter ca 3 månader.

7 RESULTAT

7.1 Karbonatisering och inträngningsdjup

Undersökning av karbonatisering gjordes ca 1-1,5 månader efter att vattnet ("nederbörden") torkat ut på den exponerade ytan. Ingen mätbar karbonatisering hade skett i de 8 provkropparna.

När det gäller inträngningsdjup för impregneringsmedlen erhöles resultat enligt tabell 7-1 nedan.

Tabell 7-1 Inträngningsdjup för impregneringsmedel

Kub	Inträngningsdjup (mm)
<i>Husbyggnadsbetong vct 0,69</i>	
B (gel)	9-15
C (vätska)	1-2
D (kräm)	2-3
<i>Anläggningsbetong vct 0,39</i>	
F (gel)	8-12
G (vätska)	2-3
H (kräm)	1-2

7.2 Kloridmigration

Kloridmigrationskoefficienten har uppmätts och utvärderats enligt avsnitt 6.3. Resultat redovisas tabell 7-2 nedan:

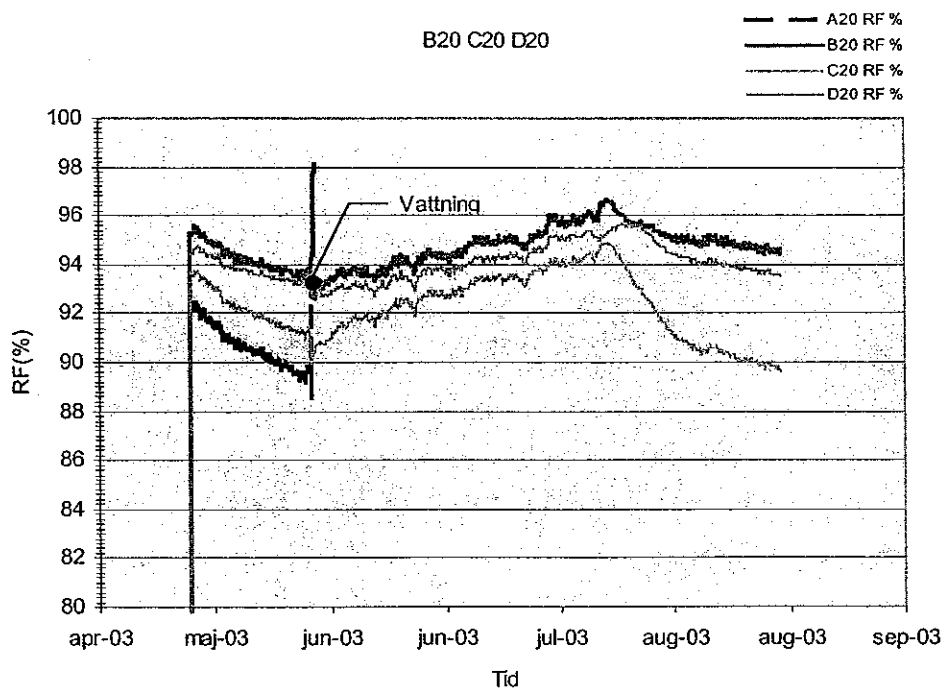
Tabell 7-2 Resultat kloridmigration

	Provkropp med gel	Provkropp med kräm	Provkropp med vätska	Obehandlad provkropp
Genomsnittsinträngningsdjup (mm)	13,6	25,1	20,6	28,7
Migrationskoefficient ($\times 10^{-12}$ m ² /s)	6,1	11,9	9,6	13,4

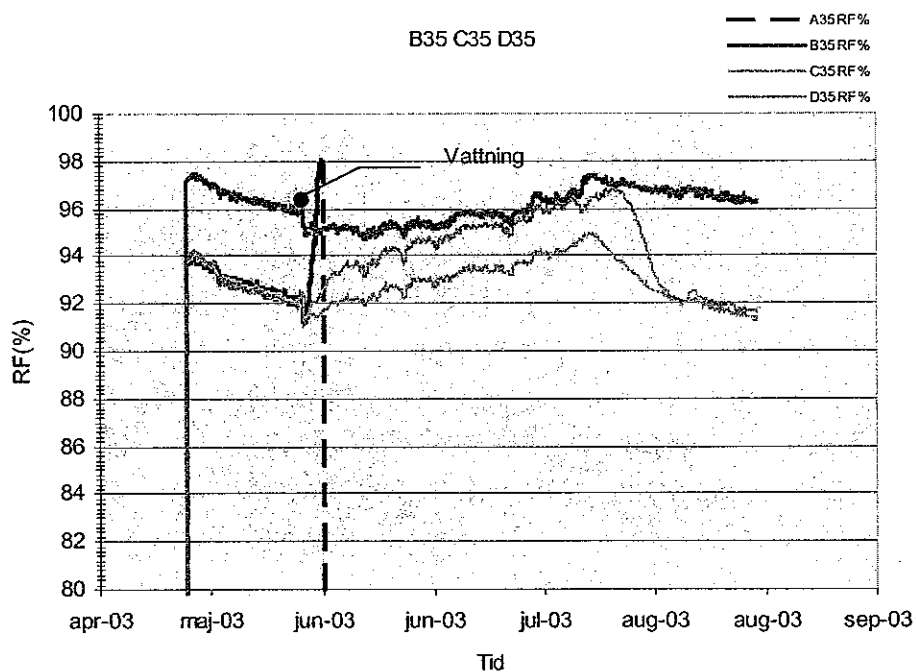
SPs mer detaljerade rapport kan ses i bilaga A.

7.3 Fuktprofiler

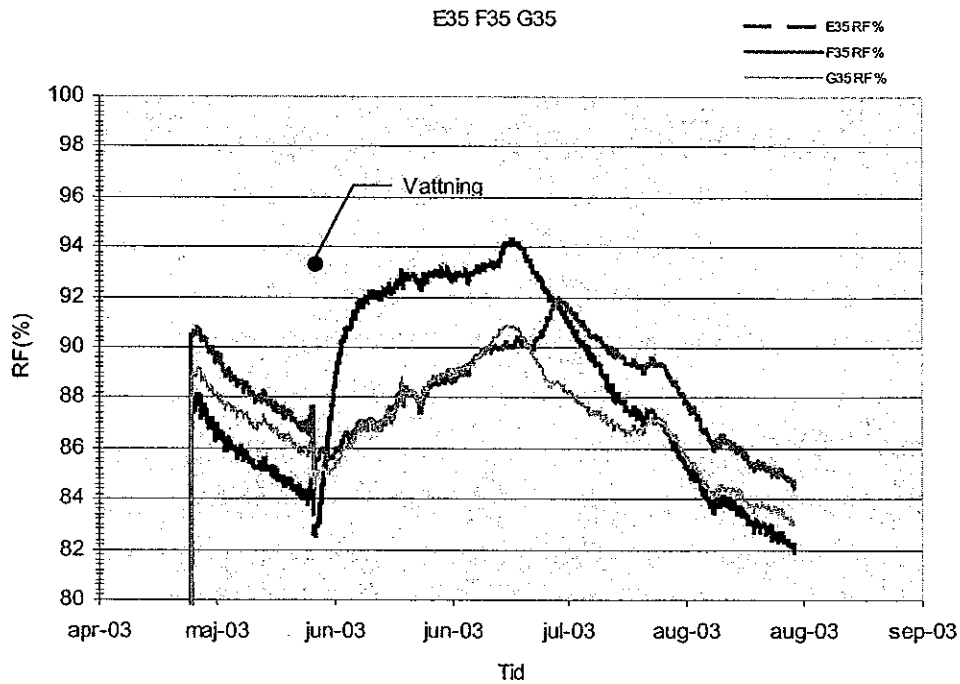
Fuktprofiler i provkropparna uppmättes med BetongDatorm Fukt version 5.0 vid BTCs betonglaboratorium i Farsta. Resultat för husbyggnads- och anläggningsbetong kan ses i figurer 7-2 till 7-3 respektive 7-4 till 7-5. I figurer 7-2 och 7-3 kan ses att provkropp A (husbyggnadsbetong utan impregneringsmedel) har givit onormala mätvärden direkt eller strax efter vattning av provkroppen. Vad det beror på diskuteras under avsnitt 8. När det gäller anläggningsbetong är det provkropp H (anläggningsbetong impregnerad med kräm) som har fallerat vid mätningarna, vilket troligen beror på sändaren. Utfallet av mätningen av provkroppen är därför inte presenterade i figurena.



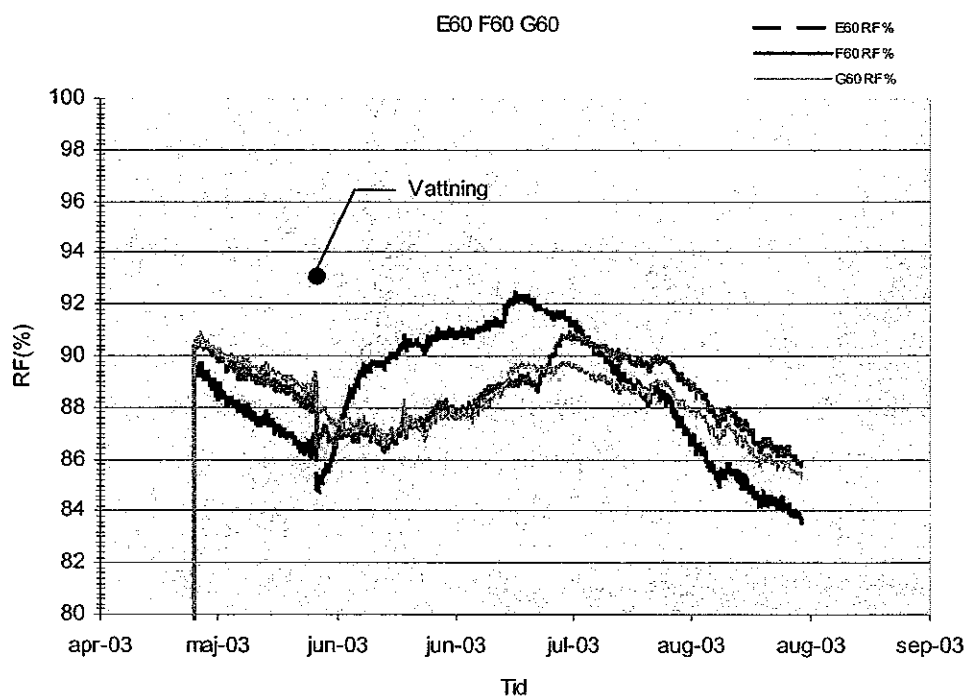
Figur 7-2 Jämförelse av oimpregnerade och impregnerade betongkuber. A=Oimpreg. , B=Impreg. med gel, C= Impreg med vätska, D= Impreg. med kräm. Siffran 20 står för mätdjup 20mm.



Figur 7-3 Jämförelse av oimpregnerade och impregnerade betongkuber. A=Oimpreg. , B=Impreg. med gel, C= Impreg med vätska, D= Impreg. med kräm. Siffran 35 står för mätdjup 35mm.



Figur 7-4 Jämförelse av oimpregnerade och impregnerade betongkuber. E=Beton utan impregneringsmedel, F=Impreg. med gel, G= Impreg med vätska. Siffran 35 står för mätdjup 35mm.



Figur 7-5 Jämförelse av oimpregnerade och impregnerade betongkuber. E=Beton utan impregneringsmedel, F=Impreg. med gel, G= Impreg med vätska. Siffran 60 står för mätdjup 60mm.

8 DISKUSSION OCH BEDÖMNING

De resultat som har erhållits för karbonatisering, kloriddiffusion och fuktprofiler har uppmätts under kontrollerade former i laboratorium, +20 °C och 40-50% RF.

8.1 Karbonatisering

Ingen, eller minimal, karbonatisering har skett på de undersökta provkropparna. Detta beror på inomhusklimatet, RF 40-50% och att provkropparna vattnades. Den låga relativa fuktigheten (RF) innebär att ingen kemisk reaktion sker mellan koldioxiden och betongen, och därmed ingen karbonatisering. Detta innebär att impregneringen inte hade någon större betydelse i detta fall.

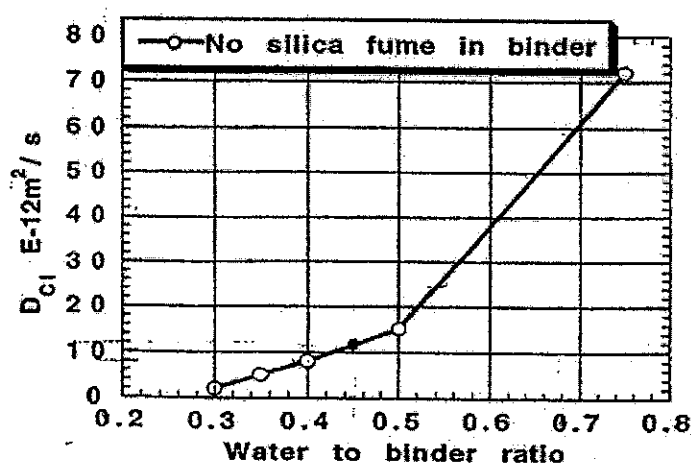
8.2 Inträngningsdjup

När det gäller inträngningsdjup kan man se ur tabell 7-1 att gelen har det största inträngningsdjupet, både på husbyggnadsbetongen och anläggningsbetongen. Med stor sannolikhet är det orsaken till att kub med gel också har lägst kloridmigrationskoefficient, se avsnitt 8.2 nedan. Krämen har ett inträngningsdjup i husbyggnadsbetong på 2-3mm men i anläggningsbetong endast 1-2mm. Detta kan bero på att impregneringen är gjord på en tät betong på en horisontell yta i ett lab. Detta får till följd att krämen separerar och vattnet tränger ner i betongen före själva impregneringen och blockerar den. I normala fall, ute i fält, fås högre inträngningsdjup, då den appliceras på vertikala ytor/4/.

När det gäller vätska erhöles ett något större inträngningsdjup i anläggningsbetong än i husbyggnadsbetong (2-3mm resp. 1-2mm), vilket är förvånande. Det mest rimliga hade varit det omvända, då husbyggnadsbetongen är porösare, vilket även har visats för den självkompakterande betongen (se bilaga B). Någon rimlig förklaring kan inte ges.

8.2 Kloridmigration

Sandberg, 1998, visade på ett samband mellan vct och kloriddiffusionskoefficienter för olika betonger, se figur 8-1. Figuren visar att kloriddiffusionskoefficienten blir lägre ju lägre vct är. Detta beror bl a på att betongens täthet ökar med lägre vct /1/.



Figur 8-1 Kloriddiffusionskoefficienter i förhållande till vct/1/.

De uppmätta kloriddiffusionskoefficienterna har översatts till motsvarande vct enligt figur 8-1. Resultaten redovisas i tabell 8-1.

Tabell 8-1 Resultat för kloridmigration samt motsvarande vct. /1/

	Provkropp med gel	Provkropp med kräm	Provkropp med vätska	Obehandlad provkropp
Genomsnittsinträngningsdjup (mm)	13,6	25,1	20,6	28,7
Migrationskoefficient ($\times 10^{-12}$ m ² /s)	6,1	11,9	9,6	13,4
Motsvarande vct enligt figur 8.1	0,37	0,48	0,42	0,51

Av detta kan ses att det endast är betong med krämimpregnering som motsvarar det vct som betongen ursprungligen tillverkades för, dvs 0,39. Detta innebär i sin tur att impregneringsmedel har positiv inverkan med avseende på kloridmotstånd. Det är dock tveksamt om det behövs då inträngningsdjupet endast ligger kring 30mm (oimpreg.), medan i

normala fall ligger täckskiktet kring ≥ 60 mm (beroende på armeringstyp och konstruktion) för anläggningskonstruktioner.

8.3 Fuktprofiler

Provkropparna har kontinuerligt utsatts för stående vatten på exponeringsytan. Denna exponering kan inte direkt jämföras med verkliga förhållanden där ett cykliskt förlopp är mer vanligt. Enligt leverantörer av impregneringsmedel samt experter inom aktuellt område bedöms provningsförfarandet något för hård/3//5/.

Anläggningsbetong, vct 0,39, oimpregnerad.

I figurerna 7.3-7.4 kan man se att fukthalten i den oimpregnerade betongen är som störst nära ytan (20mm). Maxvärdet uppmättes till 94,3% RF och minvärdet till 81,9% RF efter 3 månaders exponering. Detta är en skillnad på 12,4%. Djupare in i betongen (35mm) ser man att skillnaden inte blir lika stor, 8,8% där max- respektive minvärdet uppmättes till 92,4% RF respektive 83,6% RF. Här har följaktligen täckskiktets storlek stor betydelse.

Anläggningsbetong, vct 0,39, impregnerad.

Från figurer 7.3-7.4 kan ses att impregneringen har en viss betydelse på den relativa fuktigheten, jämfört med den oimpregnerade provkroppen. Vid 60mm djup ligger skillnaden i RF mellan oimpregnerad betong och betong impregnerad med gel inom felmarginalen (2%). Mellan oimpregnerad betong och betong impregnerad med vätska är skillnaden ca 2,5%, vilket också bedöms som litet. Vid 35mm är skillnaden mellan oimpregnerad- och impregnerad betong något större men det är sällan som anläggningskonstruktioner har täckskikt så litet som 35mm. Det kan dessutom tilläggas att ett vct på 0,39 får anses som lågt, vilket också bidrar starkt till armeringens skydd.

Husbyggnadsbetong 0,69

Figurer 7.1-7.2 visar att fuktmätningar i den oimpregnerade betongen har avbrutits strax efter vattningen. Troligen beror detta på att vatten har trängt ner i betongen till givarna. Då betongen har ett högt vct innebär detta en hög porositet, vilket innebär att fukt lättare tar sig in, oavsett om det är 20- eller 35mm. Vid dessa betonger har dock impregneringsmedlen en större effekt än för anläggningsbetongen. Här är det också befogat med impregnering då det är

lägre täckskikt i huskonstruktioner. Man kan också se att vätske-impregneringen har klarat sig bäst. Detta beror troligen på att vätskeimpregneringen är en 100%-ig silan produkt, medan krämen är utspädd med någon emulsion för att erhålla en annan konsistens. Vätskan är dock svårare att applicera på ytor där vätska har svårt att hålla sig kvar, t ex undersida bro/6/. En förklaring till att gelen har haft ett sämre resultat kan bero på att det är en djupimpregnering, vilket får till följd att vattnet får en ”längre väg tillbaka” då den torkar ut från betongen/5/.

9 SLUTSATSER

- Impregneringen har ringa inverkan med avseende på karbonatisering, varken positiv eller negativ, på betongen vid torrt klimat (i t ex lab) eller då betongen är totalt under vatten.
- Impregnering har god inverkan på anläggningsbetong med avseende på kloridinträngning och fukt, då täckskiktet ≤ 35 mm. Vid täckskikt ≥ 60 mm anses impregnering ej nödvändigt.
- Vid impregnering av anläggningsbetong visade gel bäst resultat med avseende på kloridinträning.
- Vid impregnering av anläggningsbetong visade kräm och vätska bäst resultat med avseende på fukt.
- Impregnering har god inverkan på husbyggnadsbetong med avseende på fukt.
- Vid impregnering av husbyggnadsbetong visade vätska bäst effekt när det gäller fukt.
- I husbyggnadskonstruktioner t ex fasader och balkonger med täckskikt ≤ 35 mm kan impregneringsmedel användas som underhållsåtgärd med avseende på eventuell armeringskorrosion.

10 REFERENSER

1/ Paul Sandberg, Chloride initiated reinforcement corrosion in marine concrete, Lund, 1998.

2/ Muntlig kommunikation med Magnus Åhs, Skanska Sverige, 2004.

3/ Muntlig kommunikation med Mårten Janz, CBI, 2004.

4/ Muntlig kommunikation med Kajsa Byfors, Sika Sverige, 2004.

5/ Muntlig kommunikation med Kent Hankvist, Sto Scandinavia, 2004.

6/ Muntlig kommunikation med Lars Lundström, Sika Sverige, 2004.

7/ BASHEER, P A M, LONG, A E, MONTGOMERY, F R, Durability of surface treated concrete. Rep No SMRG-03-1992. Department of Civ. Eng., The Queen's University of Belfast, 1992.

11 BILAGOR

- **Bilaga A: Resultat av provning av kloridmigrationskoefficient enligt NT Build 492**
- **Bilaga B: Examensarbetet "Impregneringens inverkan på fuktprofilen, kloridinträngningen och frostbeständigheten i självkompakterande betong**

**Bilaga A: Resultat av provning av
kloridmigrationskoefficient enligt NT Build 492**

Skanska Asfalt & Betong, BTC
Att. Iad Saleh
Box 49
123 21 FARSTA

Handläggare, enhet / *Handled by, department*
Tang Luping, Bygg och mekanik
+46 (0)33 16 51 38, tang.luping@sp.se

Datum / *Date* Beteckning / *Reference* Sida / *Page*
2003-05-19 F310665 1 (1)

Bestämning av kloridmigrationskoefficient enligt NT BUILD 492 (1 bilaga)

1 Provföremål

4 st 150 mm betongkuber, märkta "X-Gel", "X-Krä", "X-Vätska" respektive "Ingen Impr", inkom till SP 2003-05-12. Enligt uppdragsgivarens uppgifter tillverkades betongen den 26 mars och är av anläggningstyp med ett vct 0,39. Kuberna märkta "X-" ytbehandlades med impregneringsmedel den 9 april. Kuberna var avsedda för kloridmigrationsprovning på behandlad yta, vilken var märkt med pil.

2 Provberedning

Ur varje kub borrades en kärna med diametern 100 mm vinkelrätt mot den yta som var markerad med pil. En skiva med tjockleken 50 mm kapades sedan från den behandlade ytan. Skivorna användes som provkroppar för kloridmigrationsprovning.

3 Provningsmetod

Kloridmigrationskoefficienten bestämdes enligt NT BUILD 492-99.

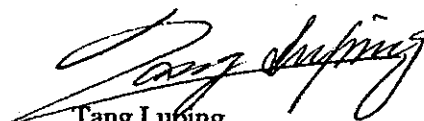
4 Provningsresultat

Provningsresultaten redovisas i bilaga 1 och avser enbart de provade föremålen.

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
Bygg och Mekanik – Byggnadsmaterial



Cathrine Ewertson
Tekniskt ansvarig



Tang Luping
Teknisk handläggare

Bilaga: 1 Provningsresultat

Provning för Kloridmigrationskoefficient enligt NT BUILD 492

Uppdragsgivare:	Skanska Asfalt och Betong, BTC				
Uppdragsnr:	F310665				
ProVID:	Impregnerade anläggningsbetong vct 0,39				
Ålder vid provstart, dygn:	49				
Provnings datum:	2003-05-14				
Prov av:	Sten Johansson/Jan Winblad				
Medelvärde av D_{NTB492} :		$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$			
Standard avvikelse:		$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$			
Variationskoefficient:		%			
Provmärkning	X-Gel	X-Kräm	X-Vätska	Ingen Impr	
Diameter d	100	100	100	100	mm
Tjocklek L	50,2	50,8	50,1	49,5	mm
Kloridkoncentration c_0	10	10	10	10	NaCl%
Spänning U	30	30	30	30	V
Strömstyrka vid start I_1	28	46	36	61	mA
Temperatur vid start T_1	294,5	294,5	294,5	294,5	K
Provningsens löptid t	24,0	24,0	24,0	24,0	hr
Strömstyrka vid slut I_2	44	64	62	68	mA
Temperatur vid slut T_2	296,5	296,5	296,5	296,5	K
Genomsnittsinträngningsdjup \bar{x}_d	13,6	25,1	20,6	28,7	mm
Migrationskoefficient D_{NTB492}	6,1	11,9	9,6	13,4	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Utvidgad mätosäkerhet ($k=2$)	0,23	0,27	0,27	0,28	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Individuella kloridinträngningsdjup					
Inträngningsdjup x_{d1}	14,0	25,9	20,8	28,7	mm
Inträngningsdjup x_{d2}	16,4	23,6	20,9	29,1	mm
Inträngningsdjup x_{d3}	13,3	25,6	22,2	28,0	mm
Inträngningsdjup x_{d4}	12,8	23,7	20,6	29,3	mm
Inträngningsdjup x_{d5}	11,7	28,7	20,0	28,5	mm
Inträngningsdjup x_{d6}	13,5	22,3	20,6	29,4	mm
Inträngningsdjup x_{d7}	13,8	26,2	19,3	27,7	mm
Anteckningar					

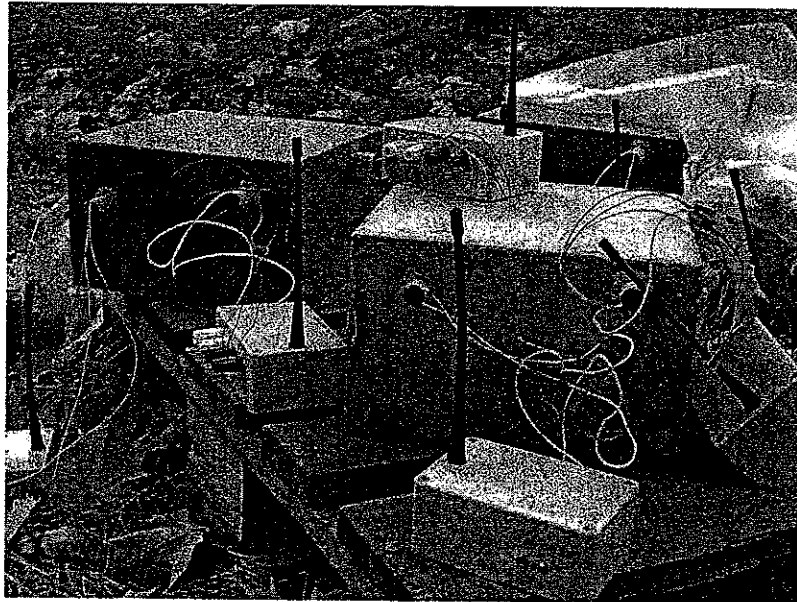
Bilaga B: Examensarbetet "Impregneringens inverkan på fuktprofilen, kloridinträngningen och frostbeständigheten i självkompakterande betong"

Av Maria Olsson och Johan Sjödin, KTH



KUNGL
TEKNISKA
HÖGSKOLAN

Impregneringens inverkan på fuktprofilen, kloridinträngningen och frostbeständigheten i självkompakterande betong



Maria Olsson
Johan Sjödin

Förord

Denna rapport är ett examensarbete som ingår i civilingenjörsutbildningen i Väg- och Vattenbyggnad. Arbetet har genomförts vid Avdelningen för Brobyggnad vid Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) i Stockholm och Skanskas Betongtekniska Centrum (BTC) i Farsta.

Examensarbetet är initierat av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF och Skanska Asphalt och Betong, för att undersöka impregneringens effekt med avseende på uttorknings- och kloridprofilen i betong.

Som handledare har Johan Silfwerbrand, prof. vid Avdelningen för Brobyggnad, KTH, och Katarina Paulou och Karin Pettersson, Skanska Asphalt och Betong, fungerat.

Vi vill särskilt tacka Katarina Paulou och Karin Pettersson för att de bidragit med värdefulla synpunkter och idéer till rapporten. Ett tack riktas även till Magnus Åhs som hjälpt oss med hantering av Betongdatorm samt övrig personal på Skanska Asphalt och Betong.

Ett tack riktas även till Johan Silfwerbrand för synpunkter på rapporten.

Vid Cement och Betong Institutet vill vi tacka Lars Johansson som givit oss värdefulla synpunkter på frostbeständighet och kapitlet om "Ytskydd för betong" samt Märten Janz som hjälpt oss att utvärdera fuktinträgningsresultaten.

Slutligen vill vi tacka Lars Lundström på Sverige Sika AB för att han visade oss hur impregneringen skulle appliceras.

Stockholm i november 2002

Maria Olsson och Johan Sjödin

Sammanfattning

Detta examensarbete redogör hur fuktprofilen, kloridinträngningen och frostbeständigheten varierar i två olika kvaliteter av självkompakterande betong (SKB) med och utan impregnering. De två olika kvaliteterna består av en husbyggnadsbetong med vct 0.70 och en anläggningsbetong med vct 0.40. Recepten för dessa tillhandahölls från Skanska Asfalt och Betong och göts i åtta omgångar.

Bakgrunden till arbetet är att få en bättre kunskap kring livslängds- och underhållsbedömning av befintliga och nybyggda betongkonstruktioner. I dagsläget är det enligt BRO 94 ett krav på att alla betongkonstruktioner i vägmiljö ska ytbehandlas. Syftet med denna rapport är att utreda nödvändigheten av detta krav vid höga betongkvaliteter.

Impregneringen utfördes med impregneringsvätska och impregneringskräm. Båda preparaten är silanbaserade och uppfyller kraven för ytbehandlingsprodukter enligt BRO 94, till exempel betongkvaliteter med vct ≤ 0.45 .

Rapporten visar impregneringsmedlets inverkan i jämförelse med de oimpregnerade på de olika betongkvaliteterna. Resultaten presenteras i form av diagram och tabeller.

Vår primära studie var att se hur fuktprofilen varierade i de olika provkropparna och för att få så "verkliga förhållanden" som möjligt placerades de utomhus oskyddade ifrån väder och vind.

Karbonatiseringsdjupet och impregneringens inträngningsdjup redovisas i resultatdelen för att se om dessa har någon inverkan på mätningarna av fuktprofilen, kloridinträngningen och frostbeständigheten.

Impregneringens effekt på de olika betongkvaliteterna visade sig vara helt olika. Husbyggnadsbetongen visade klara förbättringar i alla tre ovanstående mätundersökningar. Impregneringens fördelar kan dock diskuteras då denna typ av betong ej används i aggressiva miljöer.

Anläggningsbetongen visade däremot inga större skillnader när jämförelse gjordes mellan de impregnerade och de oimpregnerade provkropparna. En förbättring av anläggningsbetongen kunde alltså inte påvisas med hjälp av impregneringsmedlen. Dessa resultat kan ligga till grund för en diskussion om BRO 94:s impregneringskrav av anläggningskonstruktioner.

Rapporten består av två olika delar. En litteraturstudie där huvudsakligen betongens respektive impregneringens olika egenskaper tas upp. Den andra är en genomförandedel där rapportens undersökningar med resultat och slutsatser tas upp.

Abstract

This Masters thesis describes how the moisture profile, chloride intrusion and frost resistance vary in two different qualities of Self-Compacting Concrete (SCC) with and without impregnation agent. These two qualities are a house building concrete with a w/c-ratio of 0.7 and a civil engineering concrete with a w/c-ratio of 0.4. Skanska Asphalt and Concrete provided the recipes for the concrete constellations.

The background to the Masters thesis is to gain more knowledge concerning the life span and maintenance decisions for existing and newly produced concrete constructions. According to the Swedish bridge code "BRO 94" there is a requirement that all civil engineering constructions in road environments must be impregnated. The purpose of the thesis is to study the necessity of this requirement.

There were two impregnation agents used, impregnation liquor and an impregnation cream. Both substances are silane based and fulfill the requirements for surface treatment products stipulated by "BRO 94".

The Masters thesis also shows the effects between the impregnated concrete test cubes and the non-impregnated ones for both concrete qualities. The results are presented in the form of diagrams and in tables.

The primary study was to observe how the moisture profile varies in the different test cubes and to get authentic conditions they were placed outside exposed to weather and wind.

Carbonizing depth and the depth of the impregnation intrusion are presented in the result section to see if these factors had any effect on the measurements of the moisture, chloride intrusion and frost resistance.

The effect of the application of the impregnation agent on the different concrete qualities showed to be completely different. The house building concrete proved notable improvements in all three of the above-mentioned measurement studies. The advantages with impregnation agents can be questioned since this type of concrete is not used in "aggressive" environments.

The civil engineering concrete did not show any great difference when comparison was made between the impregnated and the non-impregnated test cubes. An improvement of this concrete could not be proven with the aid of the impregnation agent. This could indicate that the "BRO 94" demands for impregnation of civil engineering constructions are superfluous.

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsning	1
2. Allmän teori om materialet betong.....	2
2.1 Allmänt.....	2
2.2 Delmaterial	2
2.3 Färsk betongs egenskaper.....	5
2.4 Den hårdnande betongens egenskaper	6
3. Självkompakterande betong	10
3.1 Allmänt.....	10
3.2 Funktionssätt	10
3.3 Delmaterial	10
3.4 Färsk betongs egenskaper.....	10
3.5 Den hårdnande betongens egenskaper	11
4. Fuktmekaniska egenskaper	12
4.1 Allmänt om fukt	12
4.2 Luftfuktighet.....	12
4.3 Fuktfixering.....	13
5. Ytskydd för betong.....	15
5.1 Allmänt.....	15
5.2 Typer av ytskydd.....	15
5.3 Ytskyddets funktion	17
5.4 Silaner.....	17
5.5 Resultat från tidigare fältförsök.....	17
6. Framtagning och provning av betong	18
6.1 Allmänt.....	18
6.2 Blandningsförfarande	19
6.3 Kontroll av den färska betongen	20
6.4 Gjutning och efterbehandling.....	20
6.5 Impregnering	20
6.6 Karbonatisering och inträngningsdjup	21
6.7 Fuktprofil.....	22
6.8 Kloridinträngning	23
6.9 Frostbeständighet	23
7. Utvärdering av resultat	24
7.1 Karbonatisering och inträngningsdjup	24
7.2 Fuktinträngning	25
7.3 Kloridinträngning	34
7.4 Frostbeständighet	36
8. Slutsats.....	38
Referenser.....	40
Bilagor	41
Bilaga 1 Recept.....	42
Bilaga 2 Fuktinträngning	44
Bilaga 3 Kloridinträngning	61
Bilaga 4 Frostbeständighet	65

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Anläggningskonstruktioner tillhörande infrastrukturen är byggnadsverk som består till mycket stor del av betong. Betong ansågs länge vara ett underhållsfritt material med en obegränsad livslängd. Men tiden har visat att betongkonstruktioner kan drabbas av skador som måste repareras till höga kostnader. De vanligaste orsakerna till skador är fuktrelaterade. Fuktinträngningen i betongen är därför ett förlopp man önskar begränsa.

Impregnering av betong är en av ytbehandlingsmetoderna som används mest frekvent. Metoden utförs ofta för att minska fuktinträngningen i betongen samt torka ut betongens yta. I och med att betongen torkas ut försvåras inträngning av aggressiva ämnen som till exempel salter.

Impregneringens effekt med avseende på uttorknings- och kloridprofilen i betong är otillräckligt undersökta. Kunskapen om mekanismerna för detta, samt tidsförloppet för uttorkningen, underlättar bedömningen av både impregneringens och hela reparationssystemets funktion. Detta medför att man bättre kan bedöma en konstruktions kommande och återstående livslängd med eller utan impregnering.

Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, har startat ett projekt tillsammans med Skanska Asphalt och Betong där man undersöker parametrar för att få en bättre kunskap kring livslängds- och underhållsbedömning av befintliga och nybyggda betongkonstruktioner. Denna rapport är en liten del av detta projekt och behandlar korttidsdata från självkompakterande betong som exponerats i "verkliga förhållanden".

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att jämföra hur fuktprofilen, kloridinträngningen och frostbeständigheten varierar i två olika kvaliteter av självkompakterande betong (SKB) med och utan impregnering. Nödvändigheten av en eventuell ytbehandling på höga betongkvaliteter kommer också att utredas.

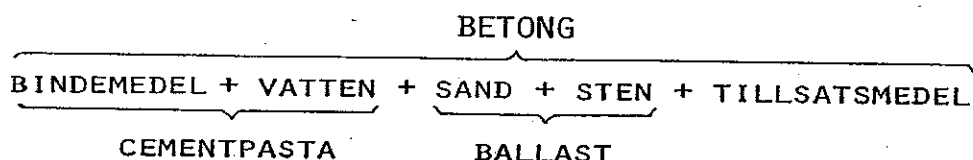
1.3 Avgränsning

Endast två olika betongkvaliteter används i denna studie vars recept vi tillhandahöll från ett Excel-baserat receptprogram på Skanska Asphalt och Betong. De impregneringsmedel som användes var båda silanbaserade och kom från Sverige Sika AB. Eftersom detta arbete är ett examensarbete är försökstiden mycket begränsad, den totala tiden för ett examensarbete är 20 veckor.

2. Allmän teori om materialet betong

2.1 Allmänt

Betong är ett sammansatt material som till största delen består av ballast (60-80 %) med varierande kornstorlek, vatten, cementbaserat bindemedel och eventuella tillsatsmedel. Blandningen mellan vatten och bindemedel kallas för cementpasta och utgör det lim som binder samman ballasten till en homogen massa [1].



Figur 2.1 – Huvudbeståndsdelarna i betong [5]

Med tillsatsmedel av olika typer kan man ändra eller modifiera egenskaperna hos betongen i färskt såväl som hårdnat tillstånd.

Egenskaperna hos den färska och hårda betongen bestäms av delmaterialens egenskaper och proportioner (volymandelar). Cementpastans egenskaper bestäms av förhållandet mellan andelen vatten och cement, det så kallade vattencementtal (vct). Egenskaperna styrs även av ålder, luftinnehåll och komprimeringsgrad [2]. Höga värden på vct eller vbt gör att cementpastan blir porös och får ett grövre porsystem, detta medför att hållfastheten sjunker och tätheten minskar [3]. Ballastens egenskaper beror på bergarten, gradering, fillerhalt, slamhalt, ytbeskaffenhet, maximal kornstorlek och kornform. Densitet och porositet är också mycket viktiga egenskaper då de är knutna till vattenabsorption och fukthalt och de måste därför beaktas i proportioneringen [4].

2.2 Delmaterial

2.2.1 Cement och andra bindemedel

Det vanligaste bindemedlet för betong är ett cement som kallas för portlandcement, betecknat P. Portlandcemenen framställs av kalksten och lermaterial och har fått sitt namn efter likheten med en naturlig stenart som finns på halvön Portland i England [1]. Cementet indelas i följande produktbeteckningar:

- Snabbt hårdnande (SH)
- Standard (Std)
- Långsamt hårdnande (LH)

Standardcimentet utgör cirka 90 % av den totala cementkonsumtionen i Sverige [1].

Cementets reaktion med vatten är av kemisk natur och dess förlopp påverkar alltifrån hanterbarhet och gjutbarhet till betongens hållfasthetstillväxt och beständighet. Reaktionen

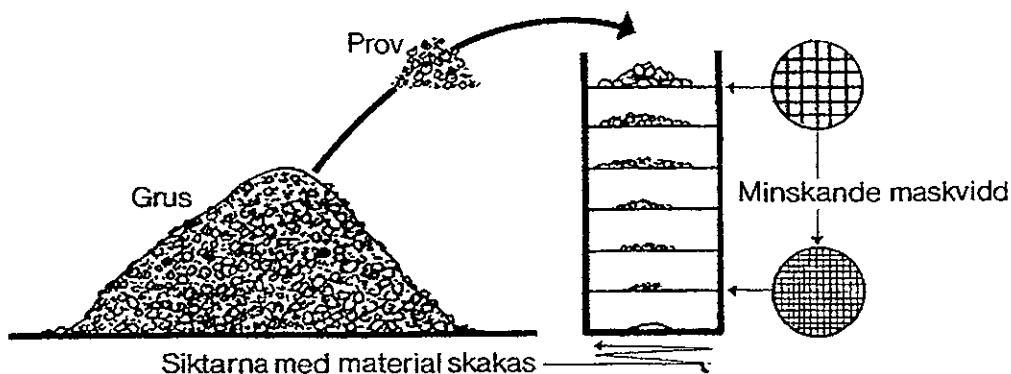
sker under värmeutveckling och reaktionsprodukterna består till största delen av stabila föreningar mellan kalcium-, kiseloxider och vattenmolekyler, så kallade kalciumsilikathydrater [1].

Vissa biprodukter från industrin, nämligen flygaska och silikastoft, kan användas som bindemedel i betong. Gemensamt för dessa är att de inte reagerar enbart med vatten utan måste aktiveras. Ihop med portlandcement och vatten utgör kalciumhydroxiden, som bildas vid cementreaktionen, denna aktivator. På så sätt bidrar dessa bindemedel som också kallas för puzzolaner till hållfasthetsutvecklingen [5].

2.2.2 Ballast

Ballast är den gemensamma benämningen på bergartsmaterial såsom sand, grus, singel, makadam och ersättningsmaterial för dessa [4]. För att kunna styra egenskaperna hos både den färska och hårdnande betongen delar man upp ballastmaterialet i så kallade fraktioner, det vill säga kornstorlekar som definieras av en övre och en undre gräns, t ex 0 mm till 4 mm [1].

För att kunna uppskatta ballastens kornstorleksfördelning siktas materialet, enligt figur 2.2, och resultatet ritas upp i ett så kallat siktdiagram. Siktcurvan anger totalt passerande mängd på varje sikt, normalt uttryckt i viktprocent [1], [4].

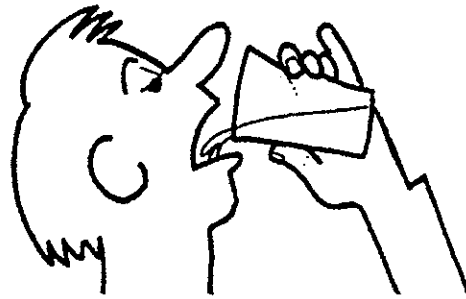


Figur 2.2 – Siktning av grus för att få fram kornstorleksfördelningen [1]

Andra viktiga egenskaper förutom ballastens storlek är densitet, porositet och vattenabsorption. Densiteten ger information om ballastens kvalitet. I Sverige varierar korndensiteten från 2600 kg/m^3 till över 3000 kg/m^3 . Porsystemets uppbyggnad påverkar vattenabsorptionen. Ballast som absorberar vatten kan frysa eller orsaka en kemisk åverkan vilket leder till risker för betongens beständighet. Vattenabsorptionen i de svenska materialen är normalt försumbar.

2.2.3 Blandningsvatten

Vatten som används vid betongtillverkning får inte innehålla några skadliga ämnen. Med "skadliga ämnen" menas ämnen som påverkar betongen negativt. Dessa kan exempelvis vara klorider Cl^- eftersom förekomst av dessa kan leda till armeringskorrosion och karbonater CO_3^{2-} och vätekarbonater HCO_3^- som påverkar cementets bindetid och betongens hållfasthet. De viktigaste egenskaperna som kan försämrats av otillräcklig vattenkvalité är betongens hållfasthet och beständighet [4].



Drickbart vatten är lämpligt till betongberedning

Figur 2.3 – Nästan allt sötvatten i Sverige kan användas till betongberedning [1]

2.2.5 Tillsatsmedel

Tillsatsmedel är hjälpmedel som används i betongen för att få produktionstekniska, ekonomiska och miljömässiga fördelar. Det finns en mängd olika typer som indelas i olika grupper beroende på deras inverkan på betongen [1]:

- Luftporbildande (L)
- Vattenreducerande (V)
- Flyttillsats (F)
- Accelererande (A)
- Retarderande (R)

De accelererande och retarderande medlen används för att skynda på respektive fördröja tillstyvnandet och hårdnandet i betongen. Luftporbildande medel används för att få bättre frostbeständighet. Vattenreducerare och flyttillsatser används för att ge den färska betongen en lösare konsistens vid bibehållet vct, sänka vattenhalten vid bibehållen konsistens eller för att få en lättflytande betong [4].

I denna studie har luftporbildande tillsatsmedel och flyttillsatsmedel använts. Flyttillsatsmedel har använts i båda betongkvalitéerna för att få en självkompakterande betong. Luftporbildande tillsatsmedel har endast använts i den högkvalitativa betongen gjuten med anläggningcement. Nedan beskrivs endast luftporbildande medel. Flyttillsatsmedlet i form av en superplasticerare beskrivs i kapitel 3 "Självkompakterande betong".

Luftporbildande tillsatsmedel ger en ökad lufthalt och en finfördelning av porerna i betongen vilket medför att frostbeständigheten ökar [5]. I och med detta bildas utrymme så att när porvattnet expanderar vid frysning kan det lätt fördelas till en annan por och frostsprängning kan förhindras.

Luftporbildande tillsatsmedel har även flera positiva effekter på den färskas betongens egenskaper [4]:

- Vattenseparationen sker långsammare
- Arbetbarheten förbättras
- Lufttillsättning verkar vattenreducerande

Men i hårdnat stadium kan sägas att tillsatsmedlet ger negativ effekt då tryckhållfastheten minskar med cirka 3-5 % för varje procent inblandad luft [4].

I denna studie har Micro-Air från Modern Betong använts. Micro-Air är ett luftporbildande tillsatsmedel som skyddar betongen från att frysa sönder genom att bilda ett stabilt luftporsystem. Micro-Air tillsätts lämpligast med blandningsvattnet och doseringen kan variera från 0,05-0,3 % av cementvikten [6].

2.3 Färska betongens egenskaper

Den färskas betongen ska sammansättas så att den erhåller sådana gjutegenskaper och sammanhållning att den hårdnande betongen får de egenskaper som efterfrågats. Den färskas betongens sammansättning påverkar således egenskaperna i såväl det färskas som hårdnande tillståndet.

2.3.1 Arbetbarhet - konsistens

Begreppet arbetbarhet har enligt Betonghandboken [4] följande betydelse: ”Arbetbarheten utgör ett mått på den energi som måste tillföras betongmassan för att den skall packa sig så tätt som möjligt, fylla ut formarna och omsluta armeringen och innejutningsgods”.

I ordet arbetbarhet innefattas begrepp som konsistens, rörlighet, flytbarhet, kärvhet, seghet med mera [1].

Det är svårt att mäta betongens arbetbarhet. Därför bestäms betongens konsistens istället och denna används som ett indirekt mått på arbetbarheten. För att kunna bestämma konsistensen används i huvudsak tre typer av mätutrustningar i Sverige [5].

- Sättkonen
- Utbredningsmått
- Vebemätare

2.3.2 Stabilitet

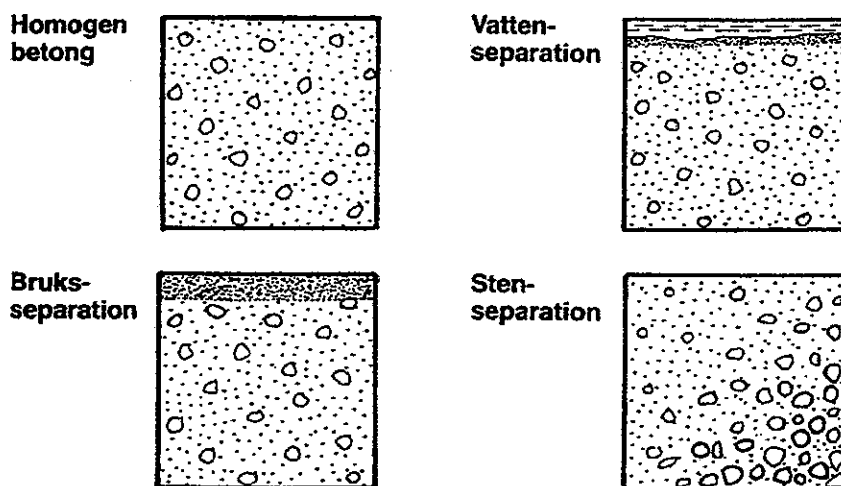
Stabilitet är enligt Betonghandboken [4] ”ett mått på betongmassans sammanhållning under transport, gjutning och bearbetning samt strax därefter”. Dålig stabilitet hos betongen kan leda till att det tyngre materialet sjunker nedåt medan de finare partiklarna stannar på ytan. Man skiljer på olika typer av instabilitet (separation) enligt följande:

Sten- och bruksseparation: Det tunga stenmaterialet sjunker nedåt i betongmassan (stenseparation) och ett skikt av cementbruk bildas på ytan (brukseparation). Detta orsakas av en allt för blöt betongmassa men kan även orsakas av en allt för hård vibrering [1].

Stenseparationen resulterar i mer eller mindre komplicerade gjutsår som måste åtgärdas genom bilning och igengjutning [5].

Bruksseparation leder till att betongytan får dåliga egenskaper såsom låg hållfasthet och sprickor [5].

Vattenseparation: Uppstår då den totala finmaterialmängden (cement och filler) är så liten att den inte klarar av att hålla kvar blandningsvattnet. Betong med stor vattenseparation kan få sprickor. Dessa uppstår 1 till 2 timmar efter gjutning då betongytan tillstyvnat. Sprickorna kan i ett tidigt stadium arbetas ihop genom vibrering på ytan eller annan ytbearbetning och resultatet brukar då bli en fullgod läkning [1].



Figur 2.4 – Homogen betong och olika typer av separationer [1]

2.3.3 Lufthalt

Med lufthalt menas den volymandel luft som finns i den komprimerade färska betongen. En normal betong utan luftporbildande tillsatsmedel har en lufthalt på cirka 2 %. För att få en betong som är frostbeständig krävs normalt en lufthalt på 4-7 %. För att kunna uppnå denna högre lufthalt krävs att luftporbildande tillsatsmedel används [5].

2.4 Den hårdnande betongens egenskaper

De egenskaper som man främst är intresserad av är:

- Hållfasthet
- Permabilitet
- Beständighet
- Brandhärdighet (Tas ej upp i detta examensarbete)
- Fuktrörelser (Beskrivs i kapitel 4 "Fuktmekaniska egenskaper")

2.4.1 Hållfasthet

Betongens mest undersökta egenskap är hållfastheten och då främst tryckhållfastheten, då denna ger indikationer på flera andra egenskaper. Betongkvalitén anknyts oftast till tryckhållfastheten och indelas i olika hållfasthetsklasser. Förutom dessa klasser finns även ett minimikrav på vct [5].

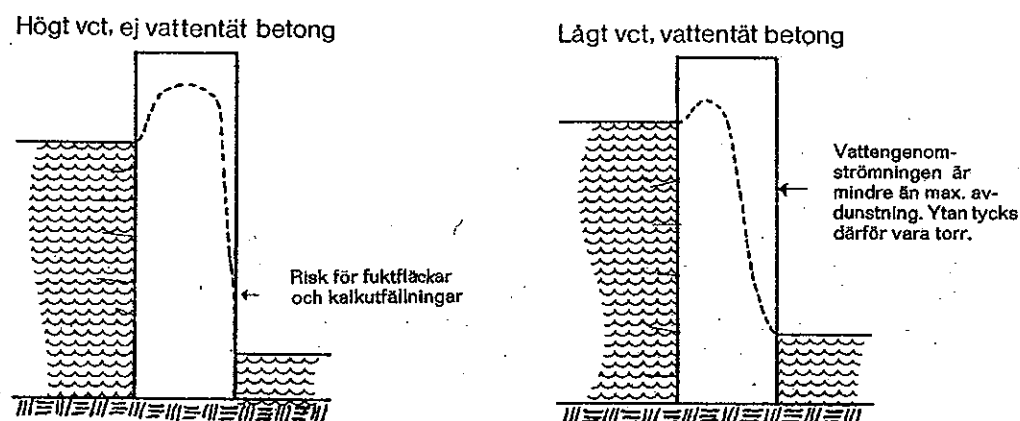
Hållfasthetsklasserna anger det minsta kravet på tryckhållfastheten vid normenliga prover. Värdena ligger mellan K 16 och K 80, där K anger att det är tryckhållfastheten på en normenlig kub och siffrorna hållfastheten i MPa [5].

Tryckhållfastheten bestäms på kuber med 150 mm sidor, eller på cylindrar med diametern 150 mm och höjden 300 mm [5]. Provningsåldern för dessa är 7 dygn för betong med snabbt hårdnande cement, 28 dygn för betong med standardcement och 91 dygn för betong med långsamt hårdnande cement [4].

Den viktigaste faktorn som påverkar tryckhållfastheten hos betongen är vattencementtalet. Ett högre vattencementtal medför att cementpastan späds ut mer vilket ger en lägre hållfasthet [5].

2.4.2 Permabilitet / täthet

Med permeabilitet menas ett materials förmåga att släppa igenom vätska eller gas som står under tryck. All betong släpper i högre eller lägre grad igenom vatten och olika gaser. Med en "vattentät" betong menas att vattenströmningen genom materialet är så liten att avdunstningen från den torra sidan gör att den på ytan verkar torr. I figur 2.5 ges exempel på fuktprofilen i två olika betonger [5].



Figur 2.5 – Exempel på fuktprofil i en konstruktion med högt respektive lågt vct [5]

Det finns två krav för att betongen ska få kallas vattentät enligt BBK 94 [7]:

- Betongens vattencementtal är högst 0,60
- Vikten av vatten i betongmassan är högst 0,5 gånger den sammanlagda vikten av cement och ballast med kornstorlek mindre än 0,25 mm

2.4.3 Beständighet

Den omgivande miljön har en stor påverkan på betongen. Betongkonstruktioner som utsätts för olika former av miljöpåfrestningar har visat sig ha en mycket varierande livslängd. Några av de vanligaste av dessa är frostangrepp, armeringskorrosion, syra- och saltangrepp.

Frostangrepp:

I konstruktioner som utsätts av upprepade frostangrepp tillsammans med vatten sker en successiv nedbrytning av betongen. På ytan uppstår krackelering, avflagningar och betongen får nedsatt hållfasthet och elasticitetsmodul [3].

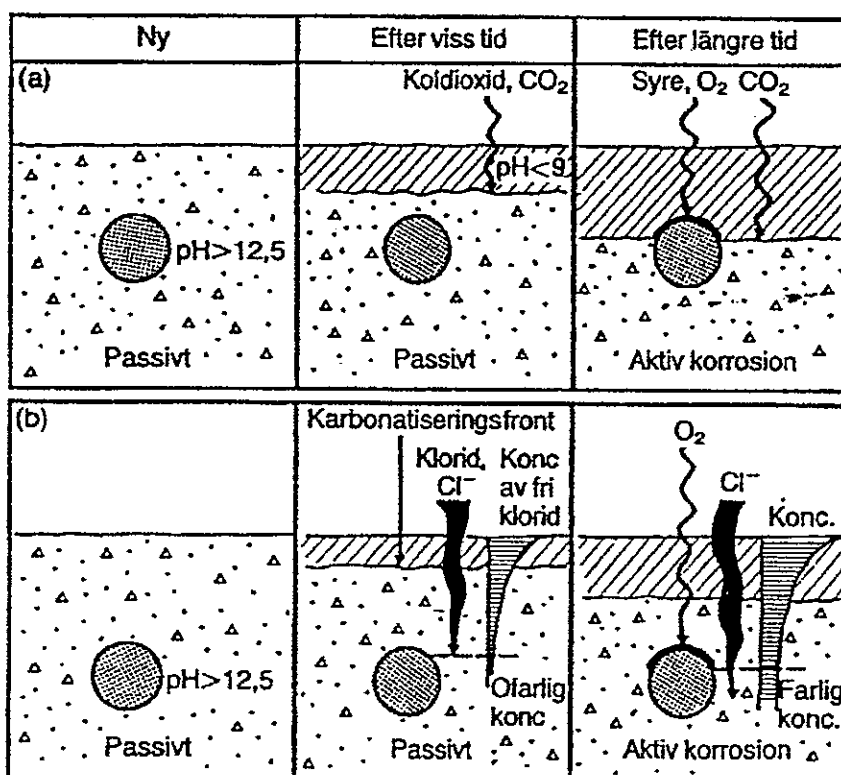
Vid frysning utvidgas porvattnet med cirka 9 volymprocent. Vattnet måste alltså kunna pressas undan från den por där isbildning sker till närmsta luftfyllda por. På detta sett sker en tryckutjämning i betongen. Om betongen saknar eller har för få luftfyllda porer uppstår ett mycket stort inre tryck vid isbildningen vilket medför att betongen spricker sönder [3].

Frostangreppen blir särskilt svåra i samband med vissa salter. Skadorna består huvudsakligen av en successivt ökande avskalning av betongens ytskikt. Exempel på dessa salter är natrium- och kalciumklorider som används för att bekämpa halka på våra vägar [3].

För att bemästra problemet med frostsprängning används två metoder. Den ena är att åstadkomma en så tät betong som möjligt genom att använda ett lågt vct, till exempel $vct \leq 0.40$. Den andra är att med hjälp av luftporbildande tillsatsmedel öka och finfördela lufthalten i betongen [2].

Armeringskorrosion:

Armering som är ingjuten i betong skyddas från korrosion på grund av den alkaliska miljön som råder där ($pH > 12,5$). Stålet sägs befinna sig i ett passivt tillstånd. Det passiva tillståndet kan brytas av två orsaker [3]:



Figur 2.6 – Olika stadier i korrosionsprocessen
(a) korrosion föranledd av karbonatisering
(b) korrosion föranledd av klorider [3]

Karbonatisering: Koldioxid från omgivande luft tränger in i betongen och reagerar med kalciumhydroxiden i betongens bindemedel (cementet) och bildar kalciumkarbonat. Som man kan se i figur 2.6 tränger karbonatiseringen in med en relativt välmarkerad front som åtskiljer en yttre zon från en inre. Den yttre zonen består av karbonatiserad betong med ett pH-värde på < 9 och den inre zonen av okarbonatiserad betong med bibehållet pH-värde. När den karbonatiserade zonen når fram till armeringsstålet aktiveras detta på grund av det låga pH-värdet och börjar rosta. Med vilken hastighet korrosionen sker bestäms i första hand av hur snabbt syre kan tränga in [3].

Klorider: Från havsvatten eller lösningar tränger klorider gradvis in i betongen. Man får inte som vid karbonatisering en markerad front utan en kloridkoncentration som avtar med inträngningsdjupet, se figur 2.6. Koncentrationen på ett visst djup från den exponerade ytan ökar med ökad exponeringstid för klorider och med ökande yttre kloridhalt. Armeringskorrosionen startar när halten av lösta klorider i porvattnet överskrider en viss tröskelnivå och får ofta en gropfrätande karaktär [3].

3. Självkompakterande betong

3.1 Allmänt

Med självkompakterande betong avses en betong som med bibehållande av en god homogenitet har förmågan att fylla ut form och omsluta armering enbart genom inverkan av gravitationskraften. Eftersom ingen vibrering eller energi tillsätts vid kompakteringen kallas betongen självkompakterande. Självkompakterande betong (SKB) används som konstruktionsmaterial, armerad, spännarmerad eller fiberarmerad, men också för utfyllnader och andra enklare tillämpningar [8].

I strävan att utveckla betongbyggandet utgör förbättrad produktivitet, arbetsmiljö samt kvalitéssäkring viktiga mål. Eliminering av vibrering och att den färsk betongen beter sig som en vätska är två viktiga faktorer för att uppnå dessa mål [8].

3.2 Funktionssätt

Färsk självkompakterande betong kan beskrivas som en partikelsuspension, d.v.s. partiklar fördelade i en vätskefas. Flytegenskaperna kan beskrivas som ett samband mellan skjuvspänning och skjuvhastighet, ofta uttryckta med parametrarna flytgränsspänning och plastisk viskositet. Liksom för alla andra suspensioner är förmågan att bibehålla stabilitet, d.v.s. undvika separation avgörande [8].

3.3 Delmaterial

3.3.1 Allmänt

Självkompakterande betong innehåller i stort sett samma beståndsdelar som vanlig betong. Det är viktigt att man har en bra sammansättning av grus- och stenmaterialen och för att få det så tillsätter man oftast ett finkornigt material som kalk- eller glasfiller. Sedan krävs det flytmedel. Vi har använt den nya typen av superplasticerare, Glenium 51. På så sätt får man en stabil betong som "håller" stenen och förhindrar den att sjunka till botten. Den självkompakterande betongen rör sig smidigt och fyller ut formen utan vibrering [6].

3.3.2 Glenium 51

I detta arbete har, som sagt, Glenium 51 använts. Glenium 51 tillhör den nya generationen superplasticerare och är lämplig att använda vid tillverkning av självkompakterande betong där högt sättmått och god sammanhållning är viktiga parametrar. Med hjälp av Glenium 51 kan betongens vattenhalt reduceras, upp till 40 % [6].

Glenium 51 tillsätts samtidigt med blandningsvattnet och doseringen är normalt 0,5-1,3 % av cementvikten [6].

3.4 Färsk betongs egenskaper

För att få betongen självkompakterande krävs det att man blandar ihop alla delmaterial på ett korrekt sätt. Det är även viktigt att man har kontroll på fukthalten i gruset så man får den exakta mängden vatten som krävs.

3.4.1 Arbetbarhet

Självkompakterande betong kan ges sådana flytegenskaper att den kan flyta genom trånga öppningar och fylla formutrymmet enbart genom gravitation. Betongen innehåller inga porer som måste elimineras genom kompaktering med externa medel (vibrering). En nödvändig

förutsättning är att materialet bibehåller sin homogenitet, det vill säga att varken grövre partiklar eller komponenter i vätskefasen separerar [8].

De funktionskrav som ställs på färsk SKB i praktisk produktion relateras till följande tre egenskaper:

1 Flytförmåga

Hur väl betongen flyter ut och hur stenar följer med och breder ut sig [9]

2 Passeringsförmåga

Betongens rörlighet och förmåga att passera och omsluta armering [9].

3 Stabilitet

Förmåga att undvika separation [9]. Risken är större hos självkompakterande betong än hos vanlig betong vid låga vct. Detta beror på att självkompakterande betong har en lösare konsistens. Risken för separation minskas genom att fillermängden ökas [2].

Den självkompakterande betongens separationsegenskaper kan snabbt förändras vid varierande vattenhalt hos delmaterialen, t.ex. ballasten. Det är därför vattenhalten måste kontrolleras före gjutning [2].

Det existerar för närvarande ett flertal olika metoder för beskrivning av arbetbarhet. Vi har i vårt projekt använt oss av flytsättningsmått och L-låda. Dessa beskrivs i kapitel 6 "Framtagning och provning av betong".

3.5 Den hårdnande betongens egenskaper

3.5.1 Hållfasthet / täthet

SKB med god flytförmåga, god stabilitet, hög pulverhalt och som inte vibreras får en homogen mikrostruktur. Utelämnad vibrering samt utökade mineralytor skapar förutsättning för en tät övergångszon mellan ballast och pasta. I konventionell betong är övergångszonen mellan ballast och pasta en inverkanfaktor för såväl hållfasthet som täthet. SKB förväntas därför få högre hållfasthet och täthet än vanlig betong vid samma vattencementtal. Ökad täthet minskar hastigheten för de flesta nedbrytningsmekanismer [8].

Ökad hållfasthet och förbättrad täthet är erfarenheter som ofta redovisas från såväl forskning och utvärdering av konstruktioner gjutna med SKB [8].

3.5.2 Beständighet

Frostangrepp

De mekanismer som styr betongens förmåga att klara frysning i olika former förefaller gälla i samma utsträckning för SKB som för traditionell betong. I tillämpningar där funktionsprovning av frostbeständighet enligt svensk standard har utförts, har SKB lett till mycket god frostbeständighet [8].

Armeringskorrosion

Karbonatisering: Se standardbetong, kapitel 2 "Allmän teori om materialet betong".

Klorider: Undersökningar som har gjorts av kloridinträngningen har visat att inträngningen, oberoende av vct, har varit lägre hos självkompakterande betong än hos vanlig brobetong [2].

4. Fuktmekaniska egenskaper

4.1 Allmänt om fukt

Alla porösa material innehåller en viss mängd fukt eftersom luften i vår omgivning alltid innehåller vattenånga. Fuktinnehållet har en avgörande betydelse för materialets egenskaper.

Ett visst fuktinnehåll i betong är ej skadligt utan tvärtom bra, men ökning medför i regel negativa effekter. Ett högt fuktinnehåll kan leda till:

- Frost
- Beständigheten försämras på grund av skadliga processer kan startas eller accelereras
- Hållfastheten och värmeisoleringsförmågan försämras
- Krympning och microsprickor i betongen utvecklas när den höga fuktinnehållet sänks
- Lösa ämnen, t.ex. salter, förflyttas inom betongen [10]

Betong är ett hygroskopiskt material, det vill säga det anpassar sitt fuktinnehåll till omgivningens. Man kan beräkna fuktinnehåll som funktion av omgivningens relativa fuktighet. Det finns också experimentella metoder att bestämma tidsförloppet vid ändrande förhållanden, t.ex. uttorkning från byggfuktiga tillstånd till jämvikt med ett givet klimat i omgivningen [4].

Några begrepp som är användbara

Fukthalt, w , är ett mått på hur mycket vatten i kg som finns per m^3 av materialet.

Fuktkvoten, u , är kvoten mellan vattnets massa i fuktigt material och massan av det uttorkade materialet. Uttrycks ibland som viktprocent.

Vattenmättnadsgrad, S , anger andelen vattenfylld porvolym. Det vill säga kvoten mellan den förångningsbara vattnets volym och den totala porvolymen [5].

4.2 Luftfuktighet

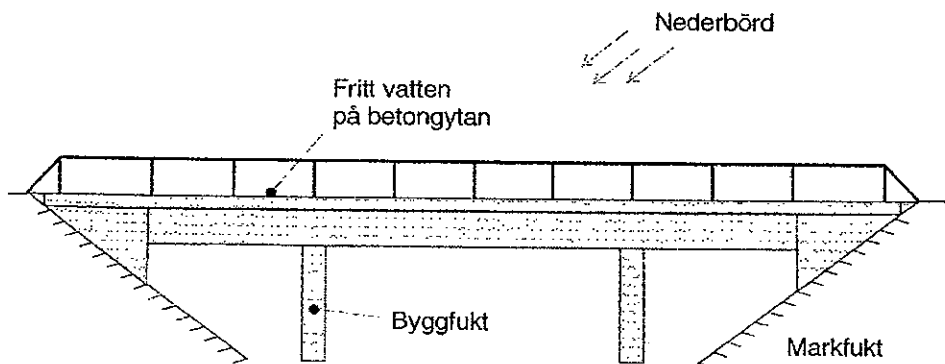
Luft innehåller alltid en större eller mindre mängd vattenånga. Den aktuella ånghalten betecknas c och uttrycks i kg ånga per m^3 luft. Vid varje temperatur finns ett högsta möjliga värde på ånghalten. Detta maximalvärde kallas mättnadsånghalten och betecknas c_0 .

Luftens aktuella fuktinnehåll uttrycks ofta genom begreppet relativ luftfuktighet, som betecknas RF eller RH (Relative Humidity). RH är förhållandet mellan det aktuella fuktinnehållet och fuktinnehållet vid mättnad. Det uttrycks ofta i procent [4].

$$RH = \frac{c}{c_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

Övriga fuktkällor, förutom luftfuktighet, kan vara (se figur 4.1)

- *Markfukt*, fukt som finns i marken
- *Byggfukt*, fukt som tillförs vid gjutning
- *Nederbörd*, oskyddade ytor blir fuktbelastade vid regn m.m.
- *Fritt vatten*, konstruktioner i direkt kontakt med vatten, t.ex. broar.



Figur 4.1 – Vanliga fuktkällor på en bro [10]

4.3 Fuktfixering

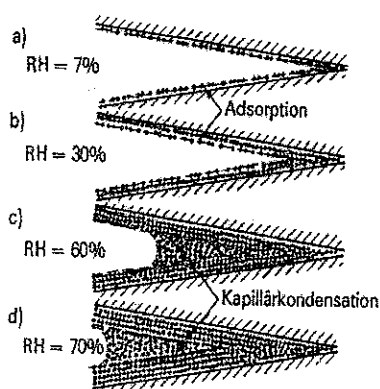
För att förstå hur man på bästa sätt skall skydda en betongkonstruktion från fuktrelaterade skador bör man förstå hur materialet tar upp och binder fukt [10].

I princip gäller att ju mera finporöst ett material är desto mer fukt förmår det binda hygroskopiskt. Betong är ett extremt finporöst material och är därför i hög grad hygroskopiskt.

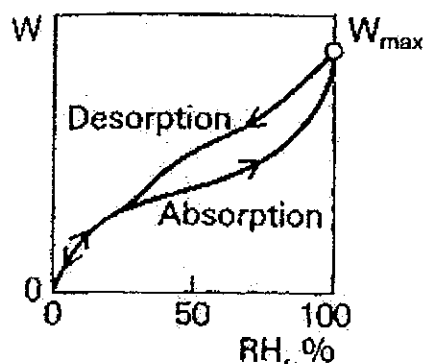
De gelporer som utgör en avsevärd andel av den totala porositeten i cementpastan har en vidd, som endast motsvarar 4 à 5 vattenmolekyler. De övriga porerna har en vidd som understiger 10 000 Å och kan därför vattenfyllas genom kapillärkondensation.

Fuktfixering brukar delas in i fyra olika tillstånd enligt följande [10]

1. Kemiskt bundet vatten (räknas ej som fukt och kan heller inte avgå)
2. Adsorberat vatten
3. Kapillärt vatten
4. Fritt vatten (finns i större porer eller hålrum)



Figur 4.2 – Hur betongen binder vatten [4]



Figur 4.3 – Sorptionsisotermens utseende [4]

Vid $RH < 45\%$ binds materialet genom adsorption, d.v.s. vattnet binds genom ytkrafter direkt mot de inre materialytorna. Vid $RH \geq 45\%$ kommer starkt krökta vattenmenisker att utbildas i porena. Därvid fixeras ytterligare vatten genom kapillärkondensation, se figur 4.2.

För varje material, som är i fuktjämvikt med omgivande luft, existerar en jämviktsfukthalt eller jämviktsfuktkvot vars storlek ökar med ökande RH. För $RH = 0$ är jämviktsfuktkvoten 0 och för $RH = 100\%$ motsvarar jämviktsfuktkvoten i princip att alla porer i materialet är fyllda [4]. Sambandet mellan betongens så kallade jämviktsfukthalt och dess RH kallas sorptionsisoterm. Av ordet isoterm framgår att det finns ett temperaturberoende, sänkt temperatur medför något större fuktfixering vid varje RH.

Sorptionsisotermens utseende beror på om betongen är under uppfuktning, adsorption, eller om den är under uttorkning, desorption, se figur 4.3. De så kallade adsorptionsisotermerna ger alltid lägre fukthalter än desorptionsisotermerna [4].

5. Ytskydd för betong

5.1 Allmänt

Betong ansågs länge vara ett underhållsfritt material med en obegränsad livslängd. Men tiden har visat att betongkonstruktioner kan drabbas av skador som måste repareras till höga kostnader. De vanligaste orsakerna till skador är [11]:

- Frost
- Saltfrost
- Igensättning av betongens luftporer
- Armeringskorrosion till följd av :
 - karbonatisering
 - saltinträngning
- Alkali-kiselsyrareaktioner, AKR

Studerar man ovanstående skador ser man att fukten har en stor betydelse för alla typer av skador [11]:

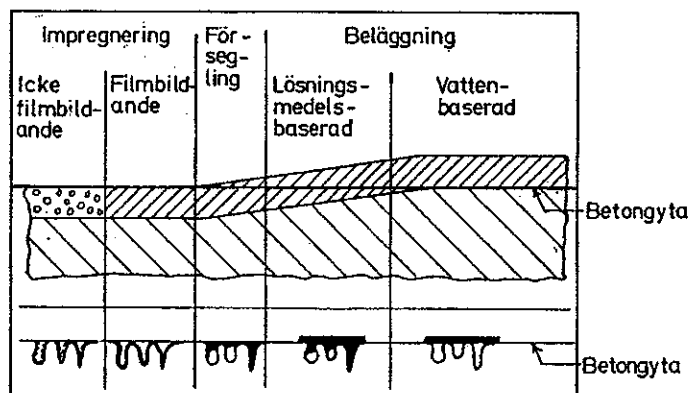
- Utan fukt sker inga frostsador
- Fukten fungerar som elektrolyt då armeringen korroderar. Finns det ingen fukt sker ingen reaktion.
- Fukten löser ut salterna som fyller igen betongens luftporer. Luftporerna bibehålls om salterna inte kan lösas ut av fukt.
- Fukten transporterar saltet som bidrar till saltfrostsador, gropfrätning på armering och ökande AKR-skador. Om det inte finns fukt har salt svårare att tränga in utifrån.

Kan man alltså hålla betongen torr har man funnit lösningen på många problem [11]. För att skydda betongkonstruktioner mot dessa fuktrelaterade skador kan ytskydd i form av impregnering, skyddsmålning, bruk eller förtillverkade mattor och dukar användas [4].

5.2 Typer av ytskydd

Ytskydden indelas i tre olika kategorier efter graden av inträngning i betongen och skiktjockleken hos det färdiga ytskyddet [12].

- Impregneringar
 - icke filmbildande
 - portätande, helt eller delvis filmbildande
- Förseglingar
- Beläggningar



Figur 5.1 – Klassificering av ytskydd [12]

I denna studie har två stycken icke filmbildande impregneringsmedel från Sika [13] (Conservado-101 och Conservado-201 Creme) använts och dessa kommer att beskrivas närmare under kapitel 6 "Framtagning och provning av betong".

5.2.1 Impregneringar – icke filmbildande

Icke filmbildande impregneringar är lågviskösa vätskor som kan tränga in åtskilliga mm i betongen. Materialen är i allmänhet färglösa och ger i princip ingen förändring på betongytans utseende. Vätskorna reagerar med underlaget och sätter sig på porväggarna som då blir hydrofoba, det vill säga de hindrar vattenabsorptionen i betongen. Då porerna förblir öppna kan vattenånga och andra gaser, exempelvis koldioxid, passera igenom [12].

Typiska exempel av dessa impregneringsmedel är silaner, siloxaner och silikoner.

Funktionen är beroende av inträngningsdjupet. För att få ett bra skydd krävs en stor inträngning på grund av att silaner och siloxaner på betongens yta bryts ner av solens ultraviolette ljus [12].

Impregneringen hindrar normalt inte kvarstående fritt vatten från att tränga in i betongen och ger inte någon beständighet mot kemiskt angrepp. Impregneringen kan heller inte överbygga sprickor [4].

5.2.2 Impregneringar – portätande, helt eller delvis filmbildande

Dessa impregneringar är lågviskösa lösningar bestående av exempelvis silikater, silikoflourider, epoxi och metylmetakrylat som tränger in i betongen 1-3 mm och tätar porerna. Inträngningen kan ökas med hjälp av vakuum. En felaktig behandling av ytan kan leda till en ökad vattenabsorption [12].

Materialen är även här vanligen färglösa och ger i princip ingen förändring på betongytans utseende.

5.2.3 Förseglingar

Förseglingar är viskösa vätskor som delvis tränger in i betongen och därutöver bildar en tunn film på ytan. Förseglingarna förekommer både med och utan färgpigmentering. Dessa material används som ytbehandling vid lättare trafikbelastning som exempelvis gångtrafik [4]. Till denna typ av material hör epoxi, polyuretan, akryl och linolja och de har god vidhäftning till betongen [12].

5.2.4 Beläggningar

Beläggningar är produkter som bildar ett jämförelsevis tjockt skikt på betongytan. Skiktets förmåga att skydda betongen beror på dess kvalitet. De är oftast pigmenterande och försedda med tillsatser för att ge en bra tjocklek och textur [12]. Till denna typ av material hör bland andra epoxi, polyuretan, alkyd, akryl, vinyl, cementbaserade färger och bitumen.

5.3 Ytskyddets funktion

Som tidigare nämnts behöver betongkonstruktioner som vistas i utomhusklimat någon form av ytskydd för att motverka skadliga ämnen (tillsammans med fukten) att tränga in i betongen och kunna erhålla behövlig beständighet och därmed avsedd livslängd.

Genom att ytbehandla betongen minskar man risken för att skador ska uppstå. Konstruktionen blir på så sätt en i längden mycket billigare konstruktion då mycket av underhållskostnaderna kan elimineras. En ytbehandling kan också stoppa en redan pågående korrosion då betongen tillåts torka ut utan att på nytt bli uppfuktad. När materialet är tillräckligt torrt avstannar korrosionen då denna kräver en relativ fukthalt på 60% [10].

5.4 Silaner

I detta examensarbete används två stycken icke filmbildande silanbaserade impregneringsmedel. Silaner är hydrofoba (vattenavstötande) kiselföreningar med små molekyler, endast 10 Å. Silanmolekylerna tränger bra in i betongens alla kapillärporer på grund av deras ringa storlek.

När silaner tränger in i betong binds de till betongytorna inne i kapillärerna och bildar ett vattenavvisande skikt på kapillärväggarna. Det vattenavvisande skiktet täpper inte igen kapillärerna utan tillåter betongen att "andas". Vatten som vill tränga in i betongen stöts bort, men vattnet som redan är i betongen kan genom diffusion transporteras bort. På detta sätt kan betongen torka ut och sedan behålla en låg fukthalt [11].

5.5 Resultat från tidigare fältförsök

Tidigare studier har visat att inträngningsdjupet är av avgörande betydelse för ytskyddets funktion. Sycon Stockholms konsult har tillsammans med Magnus Bofeldt, KTH, tagit fram ett examensarbete där de studerat relativ luftfuktighet, vattencementtal och absorptionstid på inträngningsdjupet [10]. Störst inträngningsdjup fick en betong med högt vct och låg RH. Enligt Bofeldt visade sig krämen ha ett större inträngningsdjup än vätskan.

6. Framtagning och provning av betong

6.1 Allmänt

Detta examensarbete är en jämförande studie, där tre olika parametrar har kontrollerats:

- Fuktprofilen
- Kloridprofilen
- Frostbeständigheten

För att kunna göra detta har ett gjöts antal provkroppar. Eftersom studien omfattar två stycken betongkvaliteter har två olika typer av recept använts. Den ena är gjord på ett anläggningscement och har ett vattencementtal på 0.40 och den andra är gjord på ett byggs cement och har ett vattencementtal på 0.70. Recepten för den självkompakterande betongen har Katarina Paulou på Skanska Asfalt och Betong [14] tagit fram, se bilaga 1 "Recept".

I tabell 6.1 har några korta dagboksanteckningar, från examensarbetet gjorts.

Tabell 6.1 - Dagbok

Datum	Noteringar
02-07-01	Start för examensarbetet. Teorigenomgång av betong.
02-07-10	Provgjutningar av de olika recepten startar.
02-07-22	Gjutning av alla provkroppar med anläggningscement (A-provkroppar).
02-07-23	Gjutning av alla provkroppar med byggs cement (B-provkroppar). Avformning av A-provkropparna, som sedan läggs i vattenbad .
02-07-24	Avformning av B-provkropparna, som sedan läggs i vattenbad.
02-07-29	Tar upp A-provkropparna ur vattenbadet och lägger in dem i klimatkammare.
02-07-30	Tar upp B-provkropparna ur vattenbadet och lägger in dem i klimatkammare.
02-08-12	Sågning av frysprovkropparna påbörjas.
02-08-14	Limning av gummiduk på frysprovkropparnas alla ytor förutom exponeringsytan påbörjas. Genomgång av impregneringsmedel med Sika. Genomgång av betongdatorn.
02-08-19	Impregnering av de provkroppar som ska impregneras. Applicering av vatten på fryskuberna. Borning och applicering av utrustning för fuktprovkropparna.
02-08-20	Applicering av givare och vax för fuktprovkropparna som sedan placeras utomhus.
02-08-22	Vatten byts ut mot kloridlösning för fryskuberna och placeras sedan in i frysen.
02-08-29	Mätningar av frostproverna påbörjas.
02-09-09	Kloridprovkropparna skickas till SP. Fuktmätningarna påbörjas.
02-09-13	Kloridresultatet kommer från SP
02-10-17	Frostmätningarna avslutas.
02-10-24	Fuktmätningarna avslutas.

6.2 Blandningsförfarande

Före blandningen av betongen kontrollerades fukthalten på det fina ballastmaterialet för att vattenhalten inte skulle överskridas. För att bestämma detta togs ett prov från materialet som vägdes, torkades och sedan vägdes igen. Genom att ta viktskillnaden före och efter torkning och sedan dela den med det torra materialets vikt får man fram fukthalten i materialet.

När detta gjorts fördes fukthalten in i det Excel-baserade receptprogrammet, se bilaga 1 "Recept", och proportioneringen av de olika delmaterialen kunde fastställas.

För blandning av provkropparna användes en 50 liters tvångsblandare av typ Zyclos, se figur 6.1. De torra materialen blandas först i 30 sekunder varefter vatten och tillsatsmedel tillsätts och blandas i ytterligare tre minuter. På grund av blandarens ringa storlek gjordes fyra olika blandningar för varje betongkvalité.

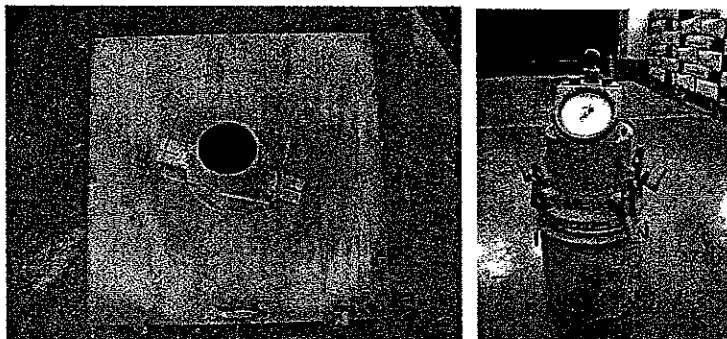
Recepten innefattade två stycken självkompakterande betonger. De har samma beståndsdelar som en standardbetong men innehåller ett tillsatsmedel som gör att betongen flyter ut utan att behöva vibreras. Tillsatsmedlet Glenium 51 tillsattes tillsammans med blandningsvattnet.



Figur 6.1 – 50 liters tvångsblandare av typen Zyclos

6.3 Kontroll av den färska betongen

På den färska betongen kontrollerades flytsättningsmättet och på den betong som var gjuten med anläggningcement och luftporbildande tillsatsmedel kontrollerades även lufthalten. Dessa två kontroller gjordes enligt Svenska betongföreningens rapport nr: 10 [8] och SS 13 71 24



Figur 6.2 –Utrustning för kontroll av flytsättningsmätt samt lufthalt

6.4 Gjutning och efterbehandling

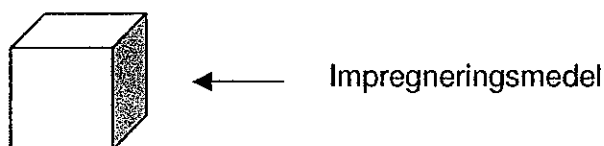
Till denna studie behövdes 18 stycken provkroppar av respektive betongkvalité, se tabell 6.2.

Tabell 6.2 - Fördelning av antalet provkroppar i respektive betongkvalité

Studie / Provkropsstorlek	vct=0,40	vct=0,70
Fuktprofil (250×250×150)	3 st	3 st
Kloridinträngning (150×150×150)	3 st	3 st
Frostbeständighet (150×150×150)	12 st	12 st

När provkropparna var gjutna härdades de under en plastfolie i ett dygn. Därefter lades de i vattenbad tills de uppnådde en ålder av 7 dygn. Efter vattenbadet placerades provkropparna i en klimatkammare på Skanska Asfalt och Betongs laboratorium med en temperatur på $20 \pm 2^\circ\text{C}$ och en relativ luftfuktighet på $65 \pm 5\%$.

När provkropparna uppnått en ålder av 28 dygn applicerades impregneringsmedlet på en exponeringsyta.



Figur 6.3 - Impregneringsmedlet appliceras på en yta av provkroppen

6.5 Impregnering

Impregneringsmedlen som använts i denna studie är två stycken icke filmbildande impregneringsmedel från Sveige Sika AB, Conservado-101 och Conservado-201, som båda är silanbaserade.

6.5.1 Conservado-101

Conservado-101 är en transparent impregneringsvätska baserad på silan, som med hjälp av luftens fuktighet kondenseras till ett klibbfritt silikonharts som kemiskt binds till betongen. Conservado-101 ger ett effektivt skydd mot kapillär inträngning av vatten och saltlösningar medan betongen fortfarande förblir diffusionsöppen för vattenånga. Detta impregneringsmedel uppfyller kravet för ytbehandlingsprodukter enligt Bro 94 [13].

6.5.2 Conservado-201

Conservado-201 Creme är en lösningsmedelsfri impregneringskräm baserad på en vattenemulsion av silan som precis som med Conservado-101 reagerar med hjälp av luftens fuktighet och kondenseras till ett klibbfritt silikonharts som kemiskt binds till betongen. Conservado-201 Creme är även ett effektivt skydd mot kapillär inträngning av vatten och saltlösningar medan betongen fortfarande förblir diffusionsöppen för vattenånga. Conservado-201 Creme uppfyller kravet för ytbehandlingsprodukter enligt Bro 94 [13].

6.5.3 Användningsområde

Dessa två impregneringsmedel används som vatten-, smuts- och saltavvisande impregneringar för betong i aggressiva miljöer, exempelvis broar, pelare och stödmurar. De är lågmolekylära och har därför mycket bra inträngningsdjup i både torra och fuktiga betongkonstruktioner [13].

6.5.4 Utförande

Applikation skedde på *en* yta med tjock pensel i ett skikt på Conservado-201 Creme och i två skikt på Conservado-101. Enligt Lars Lundström på Sveige Sika AB [15] ska den sammanlagda mängden impregnering som läggs på vara 0,3-0,4 kg/m². Detta åstadkoms genom att man, med hjälp av pensel, strök ett tunt lager av impregneringsmedel på provkroppen.

6.6 Karbonatisering och inträngningsdjup

För att undersöka inträngningsdjupet för impregneringen och karbonatiseringsdjupet spräcktes provkropparna med hjälp av en huggmejsel och slägga.

För att urskilja karbonatiseringsdjupet sprayades 1 % fenoltalein lösning på provkroppen, som ger en röd färg på den okarbonatiserade betongen och lämnar den karbonatiserade delen ofärgad. Den ofärgade delen kunde sedan mätas med linjal.

För att kunna se hur långt impregneringsmedlet trängt in i betongen sprayades vatten på den spräckta ytan. Den oimpregnerade delen av betongen blir då mörkare i färgen medan den impregnerade behåller sin ljusa ton. Den ljusare delen kunde sedan mätas med linjal.

6.7 Fuktprofil

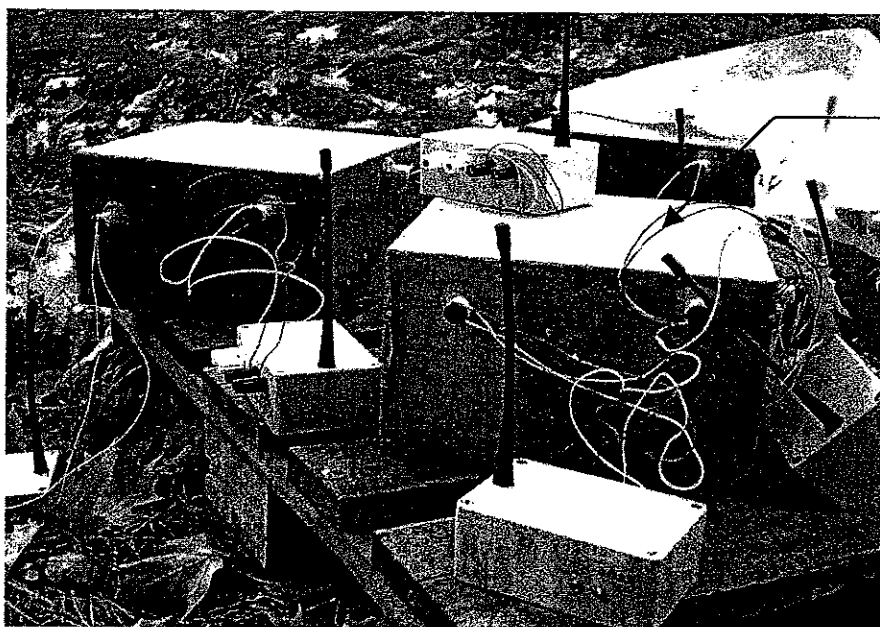
För undersökning av fuktprofilen har tre stycken provkroppar med dimensionerna 250×250×150 mm gjutits för varje betongkvalité. En var oimpregnerad, den andra krämpregnerad och den tredje vätskeimpregnerad.

Tabell 6.3 - Fördelning av antalet provkroppar för undersökning av fuktprofilen

	Vct 0.40	Vct 0.70
A, utan impregnering	1 st	1 st
B, impregnering i form av kräm	1 st	1 st
C, impregnering i form av vätska	1 st	1 st

Önskemålet var att nio stycken provkroppar skulle gjutas för varje betongkvalité. Detta begränsades till endast tre provkroppar per kvalité på grund av examensarbetets tidsbegränsning.

I varje provkropp har tre hål med olika djup borrats, och i varje hål placerades en RF-givare ansluten till Betongdatorm - Fukt. Hålen borrades på avstånden 20, 35 och 60 mm från exponeringsytan. Dessa djup valdes med tanke på gårdagens och dagens krav på täcksikt. Den totala mängden mätpunkter blev 18 stycken. Alla ytor utom den övre så kallade exponeringsytan, isolerades med vax, så att inte fukt kunde tränga in.



Den övre ytan är exponeringsytan, medan de övriga är skyddade med vax

Figur 6.4 – Sändare och provkropp med borrhål på tre olika djup, 20, 35 och 60 mm

Varje mätpunkt har två kanaler varav den ena mäter konduktansen och den andra temperaturen. Konduktansen tillsammans med temperaturen i varje mätpunkt räknas sedan om med hjälp av referensdata till relativ fuktighet i varje punkt.

Provkropparna placerades utomhus, oskyddade från sol och nederbörd. Mätning av betongens relativa fuktighet utfördes kontinuerligt under cirka 2 månader med hjälp av Betongdatorm – Fukt.

Alla förberedelser som borrning och installation av RF-givare, sändare och datalagrare utfördes enligt den preliminära användarinstruktionen som hör till Betong@Datorn 5.0 [16].

6.8 Kloridinträngning

För varje betongkvalité har tre provkroppar gjutits i kubisk form med dimensionen 150×150×150 varav en lämnades oimpregnerad och de andra kräm- eller vätskeimpregnerades.

De 6 betongkuberna märktes med vattencementtal och en bokstav, se tabell 6.4, och blev skickade till SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut där kloridmigrationskoefficienten bestämdes enligt NT BUILD 492-99.



← Utsågad provkropp med impregnerad eller oimpregnerad exponeringsyta

Figur 6.5 - Utsågad provkropp för kloridinträngning

Tabell 6.4 - Fördelning av antalet provkroppar för undersökning av kloridinträngningen

	Vct 0.40	Vct 0.70
A, utan impregnering	1 st	1 st
B, impregnering i form av kräm	1 st	1 st
C, impregnering i form av vätska	1 st	1 st

6.9 Frostbeständighet

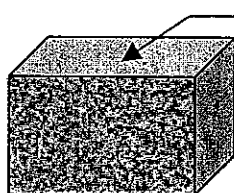
För kontroll av frostbeständigheten har 12 stycken provkroppar för varje betongkvalité gjutits, se tabell 6.5.

Tabell 6.5 - Fördelning av antalet provkroppar för undersökning av frostbeständigheten

	Vct 0.40	Vct 0.70
A, utan impregnering	4 st	4 st
B, impregnering i form av kräm	4 st	4 st
C, impregnering i form av vätska	4 st	4 st

Kropparna har gjutits i kubisk form med dimensionen 150×150×150. I de båda kvalitéerna var 4 stycken oimpregnerade, fyra krämimpregnerade och fyra vätskeimpregnerade. Frystesten utfördes enligt SS 13 72 44. Mätningar utfördes vid 7, 14, 28, 42 och 56 cykler.

Efter 56 cykler beräknades avskalningen med hjälp av ett beräkningsprogram.



Utsågad provkropp med impregnerad eller oimpregnerad exponeringsyta

Figur 6.6 - Utsågad provkropp för frostprovning

7. Utvärdering av resultat

7.1 Karbonatisering och inträngningsdjup

7.1.1 Resultat

Uppmätningen av karbonatiseringsdjup och inträngningsdjup av impregneringen redovisas nedan i tabell 7.1.

Tabell 7.1 – Karbonatisering och inträngningsdjup för impregnering, djupen är handmätta vilket således ger en liten felsäkerhet

	Karbonatiseringsdjup [mm]	Inträngningsdjup [mm]
vct 0,70		
Oimpregnerad	1	-
Krämimpregnerad	0	3
Vätskeimpregnerad	0,5	3,5
vct 0,40		
Oimpregnerad	0	-
Krämimpregnerad	0	1,5
Vätskeimpregnerad	0	1

7.1.2 Diskussion av resultat

Karbonatisering

Provkropparna ålder var bara cirka 3 månader när karbonatiseringsdjupet mättes. Därav visade anläggningsbetongen ingen karbonatisering vilket är väntat för en betong med vct 0.40. Husbyggnadsbetong med vct 0,70 är mer porös än anläggningsbetongen och koldioxid tränger lättare in. Den porösa betongstrukturen är troligtvis anledningen till att karbonatisering har påbörjats. Krämimpregneringen visar det bästa resultatet mot karbonatisering.

Inträngningsdjup av impregnering

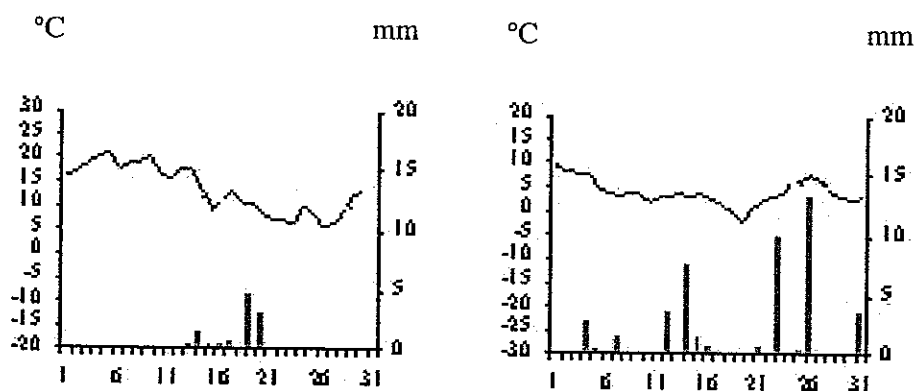
Inträngningsdjupet för impregneringen är större för husbyggnadsbetongen med vct 0.70 än för anläggningsbetongen. Detta beror på att anläggningsbetongen har en mycket tätare betongstruktur och impregneringen får då svårare att tränga in.

Sycon Stockholms konsult har som redan omtalats tagit fram ett examensarbete tillsammans med Magnus Bofeldt, KTH, [10], som visar inträngningsdjup för olika impregneringssorter och betongkvaliteter. Rapporten visar liknande resultat på inträngningsdjupen, men har en tydlig skillnad mellan kräm och vätskeimpregnering där krämen är mer djupgående.

7.2 Fuktinträngning

Utvärderingen av fuktinträngningen är den primära studien i denna rapport.

För att provkropparna ska kunna jämföras med verkliga förhållanden så har de placeras utomhus. Därför har temperatur och nederbörd för aktuell period tagits fram, se figur 7.1.



Figur 7.1 – Temperatur och nederbörd för september respektive oktober, information hämtad från SMHI [17]

- Kurvan redovisar medeltemperatur i °C för Stockholmsområdet
- Staplarn redovisar nederbörd i mm för Stockholmsområdet

Informationen i figuren ovan kan jämföras med fuktinnehållet i proverna. Vid nederbörd är det naturligt att fuktinnehållet i proverna ökar. Den uppmätta nederbörden kan även ge indikationer på huruvida fuktgivarna fungerar.

Enligt Mårten Janz på CBI [18] finns en felsäkerhet vid fuktmätningar i laboriemiljö på cirka 1 %. I denna rapport borde felsäkerheten vara mycket större på grund av att mätningarna har skett utomhus. Mårten Janz uppskattade felsäkerheten till cirka 3 %.

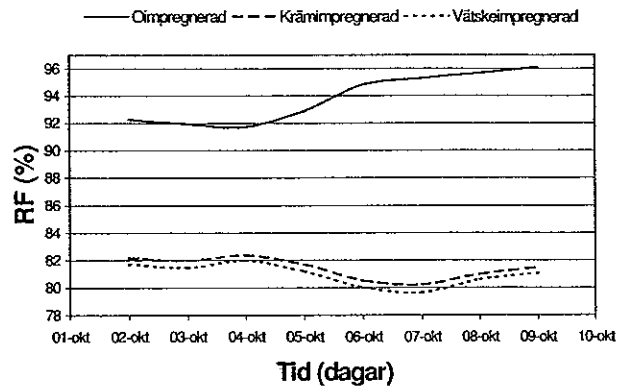
Mätningarna pågick i två månader (september och oktober), men på grund av komplikationer med utrustningen har endast 18 dagar tagits med i resultatet (12-21 september och 2-9 oktober).

Diagrammen i resultatavsnittet är taget från oktober månad. Detta på grund av att september hade störningar i två av givarna och jämförelsen blev då ej komplett. Septembers mätvärden återfinns i bilaga 2 "Fuktinträngning".

Jämförelse av impregneringssort

Försöken har visat att skillnaden mellan kräm- och vätskeimpregnering är så pass liten att när det gäller fukt kommer resonemanget endast att handla om huruvida betongen är oimpregnerad eller impregnerad.

Figur 7.2 visar tydligt att de två olika impregneringsmetoderna skiljer sig ej nämnvärt från varandra. Studerar man även andra djup och andra betongsorter så visar de samma tendenser, se bilaga 2 "Fuktinträning".

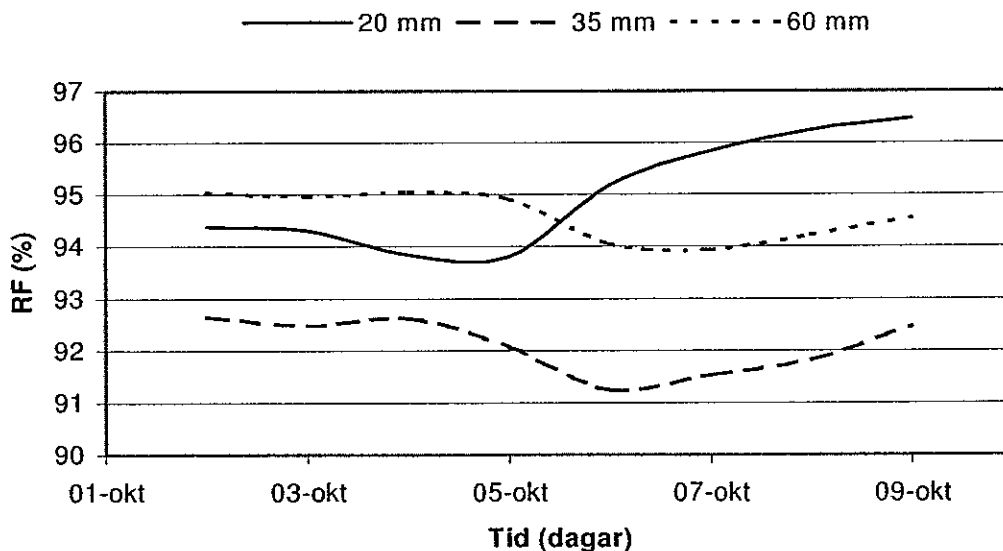


Figur 7.2 – Fuktinnehåll för anläggningsbetong på djupet 20 mm

7.2.1 Resultat och diskussion

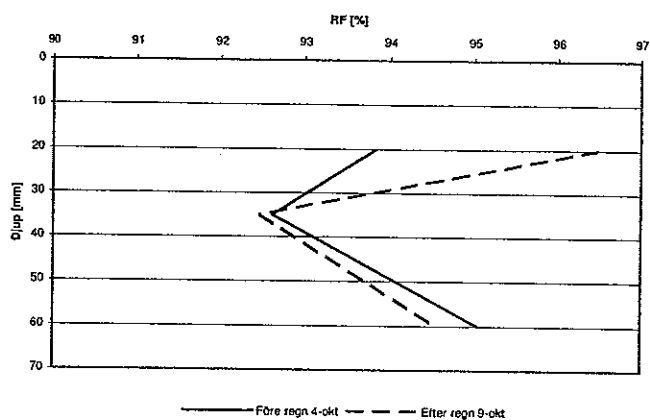
Fuktprofil för en husbyggnadsbetong - vct 0,70

Mätningarna visar att fuktinnehållet på den oimpregnerade betongen med vct 0,70 håller ett stabilt värde på alla djup så länge ytan inte påverkas av nederbörd. När nederbörd däremot inträffar (den 4 oktober) tenderar fuktinnehållet på ytan att öka relativt snabbt, medan fuktinnehållet på de övriga djupen visar en liten sänkning, se figur 7.3. Sänkningen beror, enligt Märten Janz, CBI, [18], troligtvis på temperaturvariationer.



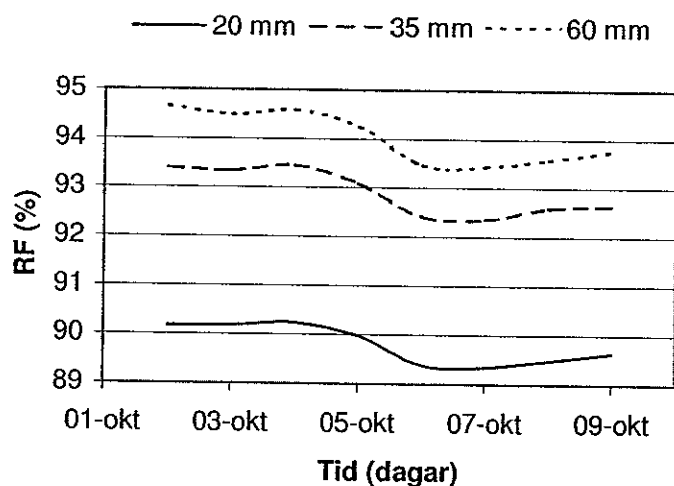
Figur 7.3 – Medelvärdet på det relativa fuktinnehållet i förhållande till tiden för en oimpregnerad betong, vct 0,70 (standardavvikelsen för dessa kurvor är störst i början med 0,98 % men avtar efter hand)

Att det relativa fuktinnehållet ökar kraftigt i den ytbelägna mätpunkten visas tydligare i figur 7.4. Figuren visar även att de övriga djupen ej påverkas av nederbörden vilket enligt Mårten Janz, CBI [18] är normalt. Efter en tid kommer även fuktinnehållet i de djupare belägna punkterna att öka, också detta enligt Janz [18]. Detta beror på att en viss del av fukten transporteras in i den torrare delen i betongen för att uppnå jämvikt, se kapitel 4 "Fuktmekaniska egenskaper". För att kunna se uppfuktningen på ett lägre djup skulle mätdata från en längre period behövas.



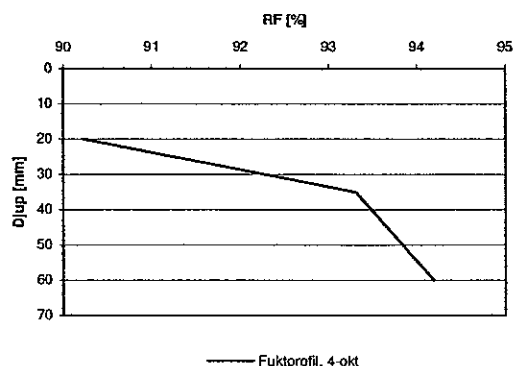
Figur 7.4 – Figuren visar hur fuktprofilen för den oimpregnerade betongen med vct 0,70 varierar före och efter regn

Mätningarna visar att fuktinnehållet i den impregnerade betongen med vct 0,70 följer varandra, fast på olika fuktnivåer. Vid jämförelse med figur 7.1 (temperatur och nederbörd), kan man se att mätpunkterna inte påverkas av nederbörden. Impregneringen verkar alltså ha en vattenavstötande effekt eftersom nederbörden ej registreras av givarna. Mätningarna visar även att den översta mätpunkten är några procent torrare än de djupare belägna mätpunkterna, se figur 7.5.



Figur 7.5 – Medelvärdet på det relativa fuktinnehållet i förhållande till tiden för en krämimpregnerad betong, vct 0,70 (standardavvikelsen för dessa kurvor är störst i början med 1,11 % men avtar efter hand)

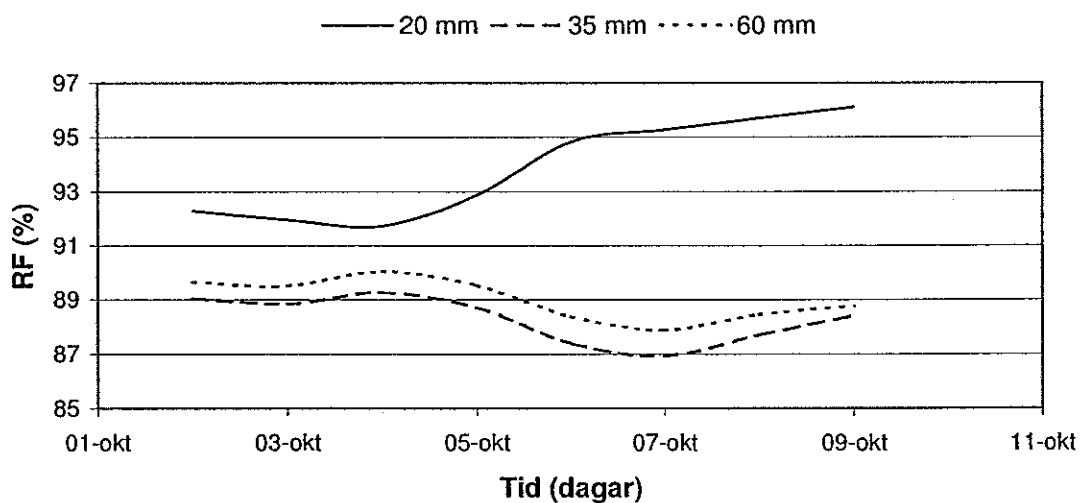
Att den översta mätpunkten är torrare än de övriga ses tydligare i figur 7.6.



Figur 7.6 – Figuren visar fuktprofilen för en impregnerad betong med vct 0,70

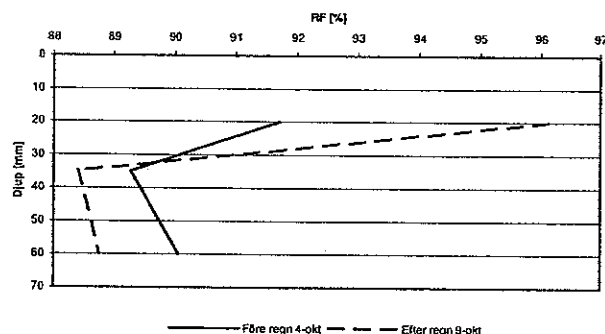
Fuktprofil för en anläggningsbetong - vct 0,40

Mätningarna visar att fuktinnehållet på den oimpregnerade betongen med vct 0,40 håller ett stabilt värde på alla djup så länge ytan inte påverkas av nederbörd. Men även på denna betong tenderar fuktinnehållet på ytan att öka relativt snabbt när nederbörd inträffar (den 4 oktober), medan fuktinnehållet på de övriga djupen visar en mindre sänkning, se figur 7.7. Denna sänkning beror, enligt Mårten Janz, CBI, [18], troligtvis på temperaturvariationer.



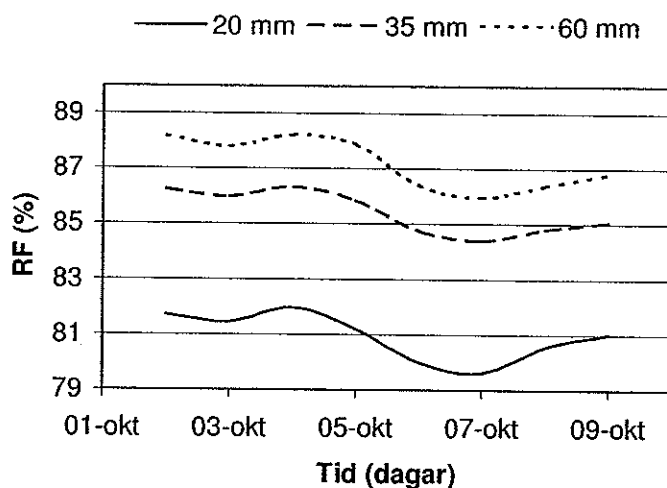
Figur 7.7 – Medelvärdet på det relativa fuktinnehållet i förhållande till tiden för en oimpregnerad betong, vct 0,40 (standardavvikelsen för dessa kurvor är störst i början med 2,5 % men avtar efter hand)

Figur 7.8 visar ännu tydligare att i den oimpregnerade anläggningsbetongen ökar fukttinnehållet kraftigt vid ytan och att de andra mätpunkterna förblir opåverkade vid nederbörd. Precis som ovan kommer även de djupare belägna mätpunkterna att uppfuktas med tiden, men på en betong med vct 0,40 kommer det att ta ännu längre tid. Detta beror på att anläggningsbetongen är mindre genomsläpplig.



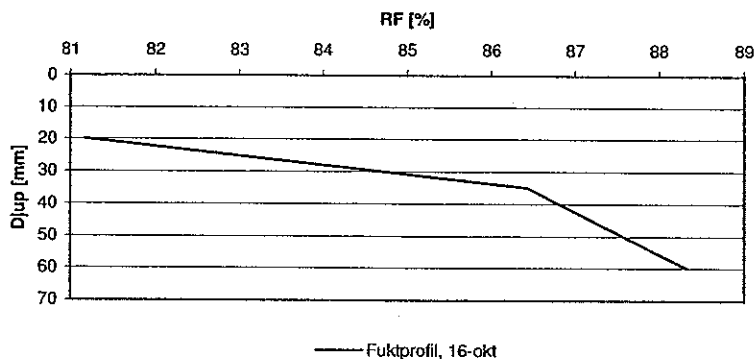
Figur 7.8 – Figuren visar hur fuktprofilen för den oimpregnerade betongen med vct 0,40 varierar före och efter regn

Mätningarna visar att fukttinnehållet på den impregnerade betongen med vct 0,40 är lägre (upp till 10 %), men av samma mönster som den impregnerade husbyggnadsbetongen. Mätningarna påverkas ej av nederbörden på grund av impregneringsmedlets vattenavvisande effekt.



Figur 7.9 – Medelvärdet på det relativa fukttinnehållet i förhållande till tiden för en vätskeimpregnerad betong, vct 0,40 (standardavvikelsen för dessa kurvor är störst i början med 1,71 %, men avtar efter hand)

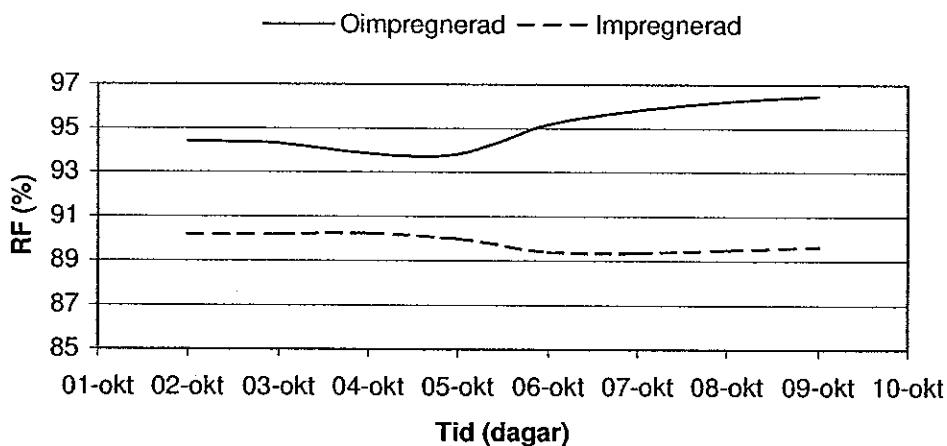
Att den översta mätpunkten är torrare än de övriga, när impregnering används, visas tydligast i figur 7.10.



Figur 7.10 – Figuren visar fuktprofilen för en impregnerad betong med vct 0,40

Jämförelse mellan impregnerad och oimpregnerad betong vid varje nivå, vct 0,70

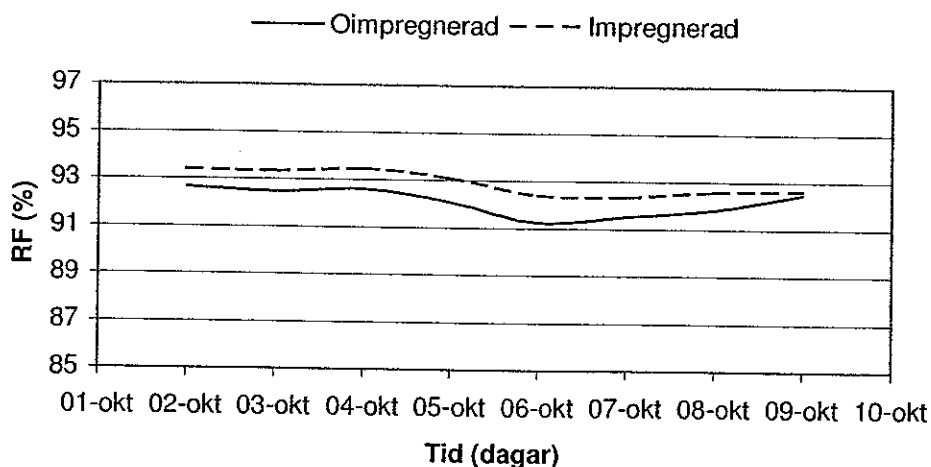
Djup 20 mm:



Figur 7.11 – Skillnad mellan en oimpregnerad och en krämimpregnerad provkropp på avståndet 20 mm från ytan, husbyggnadsbetong, vct 0,70

I figur 7.11 syns en tydlig skillnad på den relativa fuktigheten mellan den oimpregnerade och impregnerade betongen. Impregneringen verkar därför ha en stor reducerande effekt på fuktinnehållet på ett djup av 20 mm

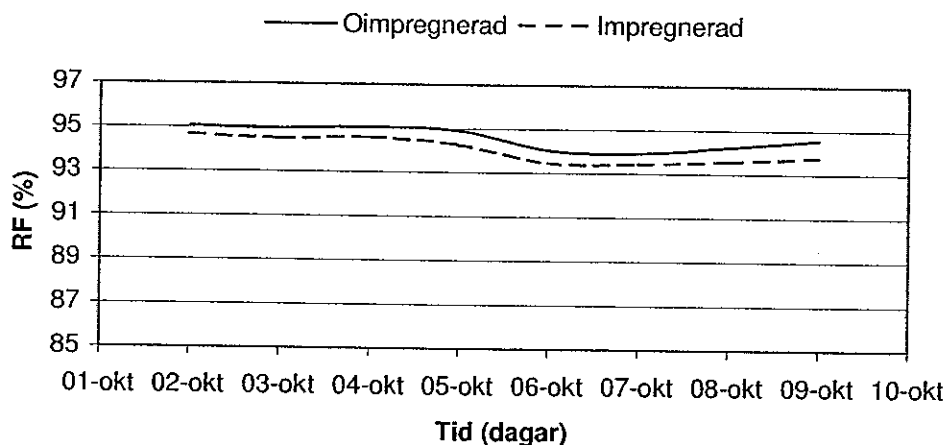
Djup 35 mm:



Figur 7.12 – Skillnad mellan en oimpregnerad och en krämimpregnerad provkropp på avståndet 35 mm från ytan, husbyggnadsbetong, vct 0,70

På ett lägre djup minskar skillnaden betydligt enligt figur 7.12. Impregneringens effekt verkar därför avta med djupet.

Djup 60 mm:



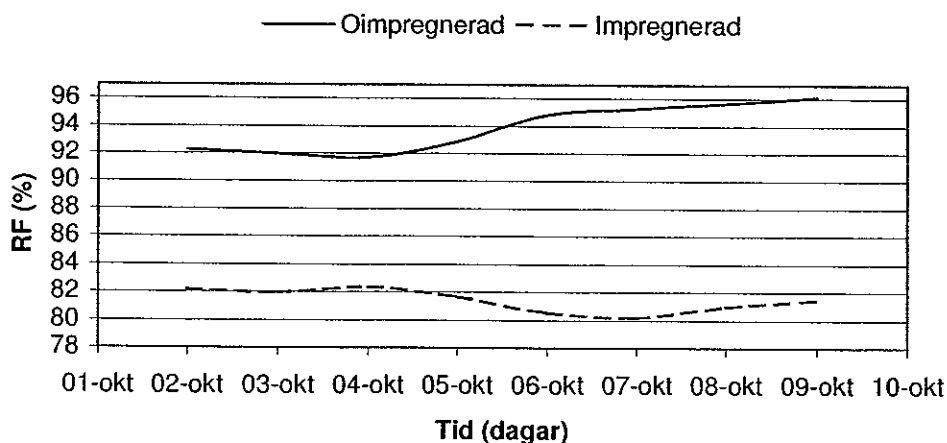
Figur 7.13 – Skillnad mellan en oimpregnerad och en krämimpregnerad provkropp på avståndet 60 mm från ytan, för en husbyggnadsbetong, vct 0,70

På ett djup av 60 mm minskar skillnaden ytterligare. Det borde innebära att vid ännu lägre djup blir skillnaden obefintlig.

Vid en extremt armeringsaggressivt miljö så ska armeringen ha ett täckskikt på 50 mm enligt BBK 94 [7] (lite varierande beroende på livslängdklass). På detta djup är fuktinnehållet, enligt ovan, i det närmaste oberoende av impregnering.

Jämförelse mellan impregnerad och oimpregnerad betong vid varje nivå, vct 0,40

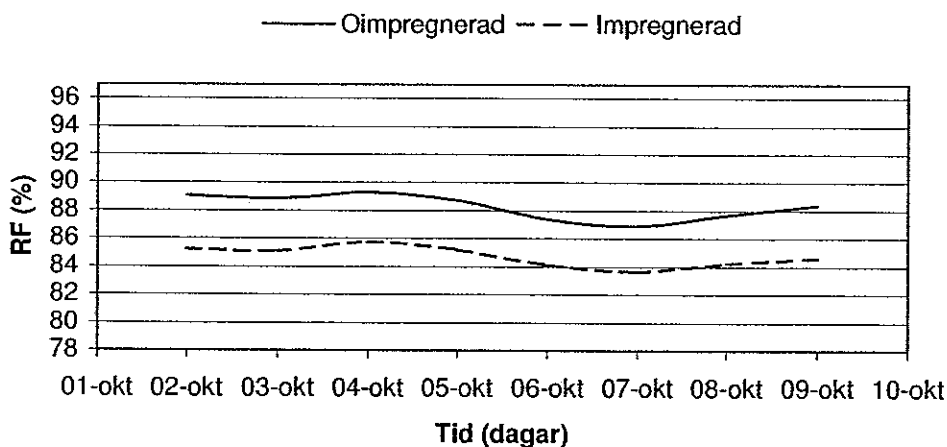
Djup 20 mm:



Figur 7.14 – Skillnad mellan en oimpregnerad och en vätskeimpregnerad provkropp på avståndet 20 mm från ytan, anläggningsbetong, vct 0,40

I figur 7.14 syns en ännu tydligare skillnad på den relativa fuktigheten mellan oimpregnerad och impregnerad betong i jämförelse med husbyggnadsbetongen. Här är skillnaden ända upp till cirka 10 %. Det går därför, även här, att konstatera att impregneringen har en stor reducerande effekt på fukttinnehållet på ett djup av 20 mm.

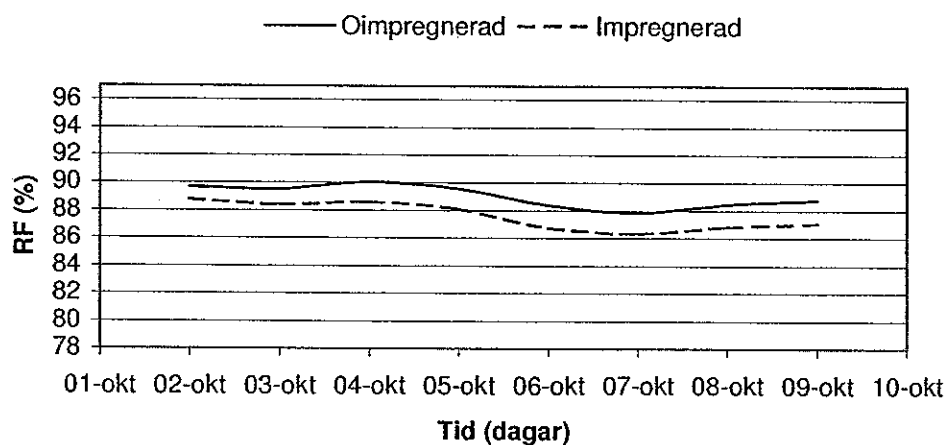
Djup 35 mm:



Figur 7.15 – Skillnad mellan en oimpregnerad och en vätskeimpregnerad provkropp på avståndet 35 mm från ytan, anläggningsbetong, vct 0,40

På ett lägre djup minskar skillnaden betydligt enligt figur 7.15. Skillnaden är här endast cirka 4 %.

Djup 60 mm:



Figur 7.16 – Skillnad mellan en oimpregnerad och en vätskeimpregnerad provkropp på avståndet 60 mm från ytan, anläggningsbetong, vct 0,40

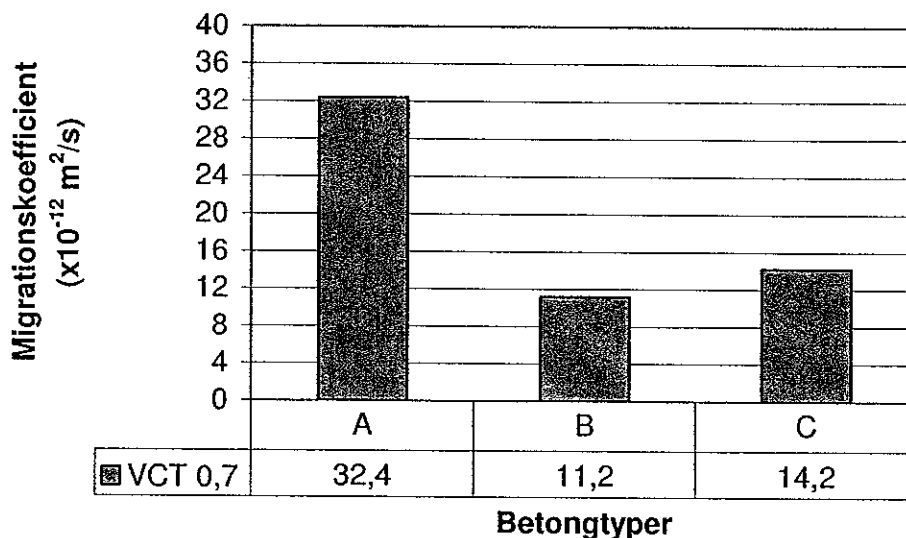
Precis som för husbyggnadsbetongen minskar skillnaden ytterligare på djupet 60 mm. Det borde även här innebära att vid ännu lägre djup blir skillnaden obefintlig och att impregneringen endast har en yteffekt.

Vid en extremt armeringsaggressivt miljö så ska armeringen ha ett täckskikt på 50 mm enligt BBK 94 [7] (lite varierande beroende på livslängdklass). På detta djup är fukttinnehållet, enligt ovan, i stort sett oberoende av impregnering. Detta skulle kunna vara ett skäl för att impregnering ej behövs för nya konstruktioner med stora täckskikt.

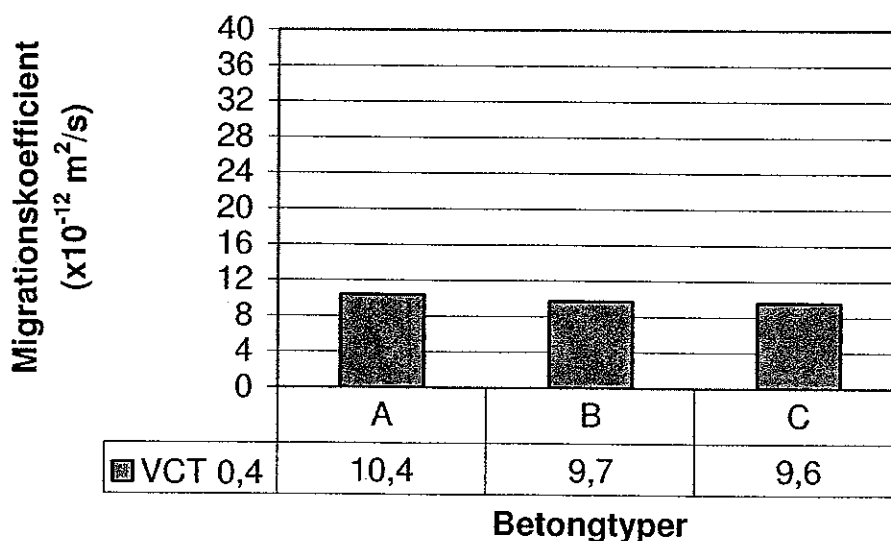
7.3 Kloridinträngning

7.3.1 Resultat

Resultatet tillhandahölls av SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. I figur 7.17 och 7.18 presenteras resultatet i form av kloridmigrationskoefficienten (ett mått på inträngningshastigheten). En mer utförlig presentation av värdena som tillhandahölls vid provningen återfinns i bilaga 3 "Kloridinträngning".



Figur 7.17 - Jämförelse av migrationskoefficienten för betongtyper med vct 0.70
(A = oimpregnerad, B = krämimpregnerad samt C = vätskeimpregnerad)



Figur 7.18 - Jämförelse av migrationskoefficienten för betongtyper med vct 0.40
(A = oimpregnerad, B = krämimpregnerad samt C = vätskeimpregnerad)

7.3.2 Diskussion av resultat

Som väntat får husbyggnadsbetongen (vct 0.70, figur 7.17), en mycket hög migrationskoefficienten jämfört med anläggningsbetongen (vct 0.40, figur 7.18) då den är oimpregnerad. Detta beror på att anläggningsbetongen är mycket tätare och kloridjonerna får då svårare att tränga in. Däremot skiljer sig inte de impregnerade provkropparna i de olika betongkvalitéerna lika mycket.

Enligt Tang Luping på SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut i Borås [19] ligger ett normalt värde på migrationskoefficienten runt $30-50 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ för oimpregnerad husbyggnadsbetong och cirka $8-12 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ för oimpregnerad anläggningsbetong.

Husbyggnadsbetong – vct 0,70

Den oimpregnerande provkroppen har en migrationskoefficient på $32,4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ vilket enligt Luping är ett normalt värde för husbyggnadsbetongen. De impregnerande provkropparna får i jämförelse med den oimpregnerande provkroppen ett betydligt bättre värde på migrationskoefficienten (upp till 60 % bättre). Den krämimpregnerande provkroppen (provkropp B) visar till och med så pass bra värden att de kan jämföras med anläggningsbetongens normala värden.

Vid jämförelse mellan de olika impregneringsmedlen märks endast en liten skillnad. Skillnaden kan vara svår att förklara då inträngningsdjupet av impregneringen motsäger resultatet. Den kan dock bero på mätosäkerheten på både bestämningen av kloridmigrationskoefficienten och impregneringsdjupet.

Anläggningsbetong - vct 0,40

Anläggningsbetongens värden på migrationskoefficienten är, till skillnad mot husbyggnadsbetongens värden, väldigt lika oavsett om den är impregnerad eller inte. Tar man dessutom hänsyn till mätosäkerheten, se bilaga 3 "Kloridinträngning" går det knappt att skilja proverna ifrån varandra.

Alla värden ligger, enligt ovan, inom de normala värdena för anläggningsbetong. Detta beror på anläggningsbetongens täta struktur.

Impregneringens inträngningsdjup

Mätningarna har inte kunnat påvisa något tydligt samband mellan inträngningsdjupet på impregneringen och resultatet för kloridinträngningen.

7.4 Frostbeständighet

7.4.1 Resultat

Med hjälp av tillhandahållet beräkningsprogram kunde ett medelvärde på avskalningen fastställas. Programmet anger betongens kvalitet med avseende på frostbeständigheten. Beständigheten har en 4-gradig skala som går från mycket god till inte acceptabel, enligt tabell 7.2.

Tabell 7.2– Frostbeständighet enligt svensk standard (SS 13 72 44)

Frostbeständighet Enligt provning	Krav
Mycket god	Avflagningarnas medelvärde vid 56 cykler (m_{56}) är mindre än $0,10 \text{ kg/m}^2$
God	Avflagningarnas medelvärde vid 56 cykler (m_{56}) är mindre än $0,20 \text{ kg/m}^2$ eller Avflagningarnas medelvärde vid 56 cykler (m_{56}) är mindre än $0,50 \text{ kg/m}^2$ samtidigt som m_{56}/m_{28} är mindre än 2
Acceptabel	Avflagningarnas medelvärde vid 56 cykler (m_{56}) är mindre än $1,00 \text{ kg/m}^2$ samtidigt som m_{56}/m_{28} är mindre än 2
Inte acceptabel	Om inte kraven för acceptabel frostbeständighet uppfylls

Husbyggnadsbetong – vct 0,70

Tabell 7.3 – Resultat av frostbeständighet på husbyggnadsbetong med vct 0,70

	Avskalning (kg/m^2)	Standard- avvikelse	Bedömning
A, utan impregnering	9,02	1,47	Inte acceptabel
B, impregnering i form av kräm	1,00	1,55	Inte acceptabel
C, impregnering i form av vätska	0,10	0,09	God

Anläggningsbetong - vct 0,40

Tabell 7.4 – Resultat av frostbeständighet på anläggningsbetong med vct 0,40

	Avskalning (kg/m^2)	Standard- avvikelse	Bedömning
A, utan impregnering	0,01	0,005	Mycket god
B, impregnering i form av kräm	0,01	0,005	Mycket god
C, impregnering i form av vätska	0,15	0,055	God

Datautskriften från beräkningsprogrammet med utförlig redovisning av alla frostcykler finns i bilaga 4 "Frostbeständighet".

7.4.2 Diskussion av resultat

Som väntat får husbyggnadsbetongen en sämre frostbeständighet jämfört med anläggningsbetongen. Detta beror på att anläggningsbetongen är av en mycket högre kvalitet och framförallt innehåller luftporbildande tillsatsmedel.

Enligt Lars Johansson på CBI [20] så är inte frostprovning av stor vikt när man jämför impregneringens inverkan på betongen på grund av att de impregnerande betongkuberna kan ge missvisande resultat. Lars Johansson menar att vid sprickor och dylikt kan impregneringen ha försämrande effekt på frostbeständigheten. Fukten kommer in genom sprickorna, men kan sedan endast torka ut med hjälp av diffusion på grund av impregneringen tätande effekt. Detta kan vara en anledning till att anläggningsbetongen ej behöver impregneras.

Husbyggnadsbetong – vct 0,70

Husbyggnadsbetongen är inte menad att frosttestas av anledningen att den inte används i miljöer där frostbeständigheten är avgörande.

Dock kan man se att impregneringen med vätska ger ett gott betyg. Krämen har en hög standardavvikelse och ser man resultatet enligt bilaga 4 "Frostbeständighet" skiljer ett prov väsentligt från de andra. Detta kan bero på att impregneringen effekt har minskat på grund av stenbortfall eller dylikt. Skulle man bortse från detta avvikande värde skulle bedömningen ha varit "acceptabel". Enligt detta resonemang så finns tendenser att frostbeständigheten ökar för en betong med vct 0,70 med hjälp av impregnering.

Anläggningsbetong - vct 0,40

Frostbeständigheten ger mycket goda värden för de oimpregnerade och krämimpregnerade provkropparna. De vätskeimpregnerade provkropparna ger däremot något sämre värde, men är ändå av bedömning god. Det kan bero på Lars Johanssons [20] resonemang om att sprickor och dylikt gör att impregneringen får en motsatt effekt. Impregneringen förbättrar som synes inte betongen utan tenderar att kunna försämma om inte förhållanden är de rätta.

Impregneringens inträngningsdjup

Mätningarna har inte kunnat påvisa någon tydlig samband mellan inträngningsdjupet på impregneringen och resultatet för frostbeständigheten.

8. Slutsats

För fukt verkar impregneringen ha god inverkan i ytan. Fukten reduceras kraftigt vid ytan för de impregnerade proverna i jämförelse med de oimpregnerade proverna. Mätningarna visar att ju djupare ner i betongen man kommer desto mindre betydelse har impregneringen på fuktinnehållet. I nya anläggningskonstruktioner fodras ett täcksikt för armeringen på cirka 50 mm, alltså på ett djup där mätningarna visat att impregneringen inte har någon inverkan. Detta kan tyda på att impregneringen är överflödigt på nya anläggningskonstruktioner, men detta skulle dock behöva styrkas med en längre undersökning. Däremot, på äldre konstruktioner med ett lägre täcksikt, kan impregneringen vara en utmärkt underhållsåtgärd då den hindrar betongen för ytterligare uppfuktning samtidigt som betongen kan torkas ut på grund av att impregneringen är diffusionsöppen.

Vid kloridinträngningen visar resultaten en stor skillnad mellan husbyggnadsbetongen med högt vct och anläggningsbetongen med lågt vct. På husbyggnadsbetongen har impregneringen en stor effekt medan anläggningsbetongen ej påverkas nämnvärt av impregneringen. En förklaring till det är att betong med lågt vct tal är så pass tät att kloridjonerna har svårt att tränga in.

Husbyggnadsbetong med vct 0.70 används som regel inte i kloridrika miljöer och resultatet för husbyggnadsbetongen är därför inte av så stor vikt. Däremot används anläggningsbetong med vct 0.40 i kloridrika miljöer. Resultatet kan ur den synvinkeln betyda att användning av impregneringsmedel med avseende på kloridinträngning är överflödigt.

Den impregnerade husbyggnadsbetongen visade vissa förbättringar i frostbeständigheten i jämförelse med den oimpregnerade. Detta är även här inte av så stor vikt på grund av att husbyggnadsbetongen inte ska användas i miljöer där frysriskerna är stora.

Resultatet för anläggningsbetongen visade ett "mycket gott" resultat då den var oimpregnerad och krämimpregnerad, men endast ett "gott" resultat vid vätskeimpregnering. Detta kan betyda att anläggningsbetongen ej behöver impregneras med avseende på frostbeständigheten. Resultaten i denna rapport indikerar dessutom att impregnering verkar kunna ge försämrade frostegenskaper.

Mätningarna har inte kunnat påvisa något tydligt samband mellan inträngningsdjupet på impregneringen och de olika delresultaten.

Sammanfattningsvis tyder resultaten från denna studie på att impregnering på en betong med vct 0.70, det vill säga en husbyggnadsbetong, kan vara motiverad. Impregneringen förbättrar de kontrollerade egenskaperna avsevärt. Nu används i regel inte husbyggnadsbetong i sådana miljöer och är av den anledningen inte i behov av att skyddas med hjälp av impregnering.

Viktigare är däremot resultatet från anläggningsbetongen med vct 0,40. Enligt BBK 94 används just denna betongkvalité i exempelvis brokantbalkar, bropelare samt parkeringsdäck. Dessa konstruktioner utsätts för mycket aggressiva miljöer. Resultaten har i vår studie visat att anläggningsbetongens egenskaper ej förbättras av impregnering. På äldre konstruktioner, med litet täcksikt, kan dock impregnering vara motiverat, då den relativa fuktigheten på nivån 20 mm var lägre på de impregnerade provkropparna vid jämförelse med de oimpregnerade.

BRO 94 har som krav att konstruktioner i vägmiljö ska ytbehandlas. Resultatet i denna rapport kan inte styrka detta krav eftersom anläggningsbetongen ej verkar förbättras nämnvärt av impregneringen. Detta kan leda till att impregneringen inte behövs på dessa konstruktioner.

Mer forskning är dock nödvändig för att vidare kunna fastställa denna rapports slutsats med avseende på BRO 94 ytbehandlingskrav. Detta gäller främst långtidseffekterna eftersom denna studie var begränsad till 3 månader.

Referenser

- [1] Carlsson, C A. Tuutti, K.; "Betongteknik", Byggentreprenörerna, Varberg 1996.
- [2] Boubitsas, D. Paulou, K.; "Självkompakterande betong för marin miljö", Lunds Tekniska Högskola, Byggnadsmaterial, Lund 2001.
- [3] Hildingson, O.; "Färsk och hårdnad betongs egenskaper", CBI:s kurslitteratur, Stockholm 1993.
- [4] "Betonghandbok Material, Utgåva 2", Svensk Byggtjänst, Stockholm 1994.
- [5] Andersson, R.; "Byggnadsmateriallära", Härnö-Förlaget, Härnösand 1990.
- [6] Modernbetong, 2002, URL: www.modernbetong.se .
- [7] "BBK 94, Band 2", Boverket, 1994.
- [8] "Självkompakterande betong – Rekommendationer för användning", Svenska Betongföreningens rapport nr 10, Stockholm 2002.
- [9] "Kursmaterial – Betongkurs klass II", Skanska 2001.
- [10] Bofeldt, M.; "Inverkan av RH, vct och absorptionstid på inträngningsdjup för impregnerad betong", Examensarbete 165, Kungliga Tekniska Högskolan, Brobyggnad, Stockholm 2001.
- [11] Karlsson, F.; "Bevare mig väl", Svenska kommunförbundet 1997.
- [12] Johansson, L.; "Ytbehandling av betongkonstruktioner utomhus", CBI Rapport 4:93, Cement och Betong Institutet, Stockholm 1993.
- [13] Sika, 2002, URL: www.sika.se.
- [14] Paulou, K; Skanska Asphalt och Betong BTC, Personlig information, Stockholm 2002-07-10.
- [15] Lundström, L.; Sika, Personlig information, Stockholm 2002-08-14.
- [16] Åhs, M.; "Betong@Datorm 5.0 Preliminär användarinstruktion" Malmö 2002.
- [17] SMHI 2002, URL: www.smhi.se.
- [18] Janz, M.; CBI, Personlig information, Stockholm 2002-10-25.
- [19] Luping, T.; SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Personlig information, Borås 2002-09-16.
- [20] Johansson, L.; CBI, Personlig information, Stockholm 2002-09-18.

Bilagor

Bilaga 1 Recept

Bilaga 2 Fuktinträngning

Bilaga 3 Kloridinträngning

Bilaga 4 Frostbeständighet

Bilaga 1 - Recept

HUSBYGGNADSBETONG

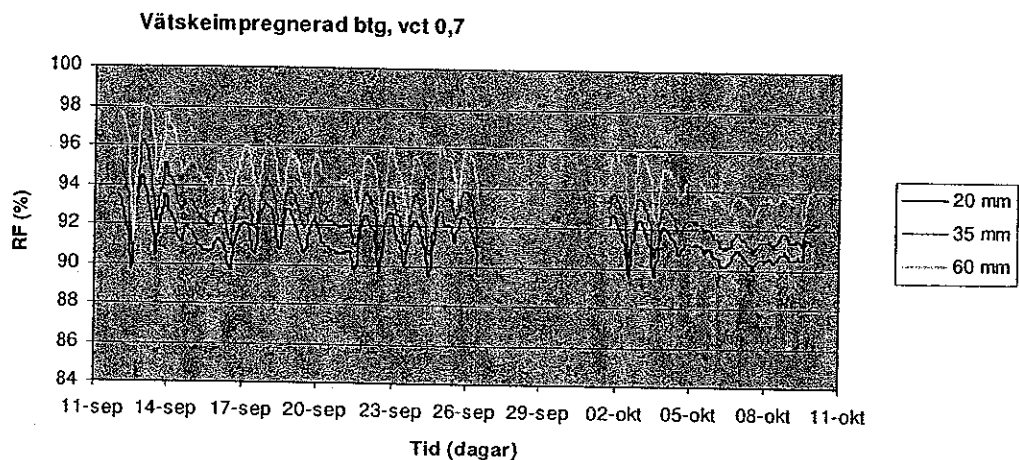
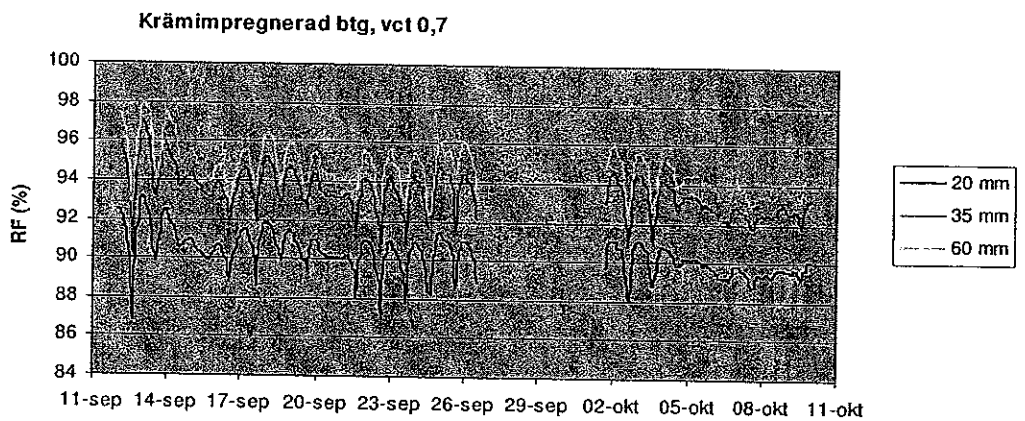
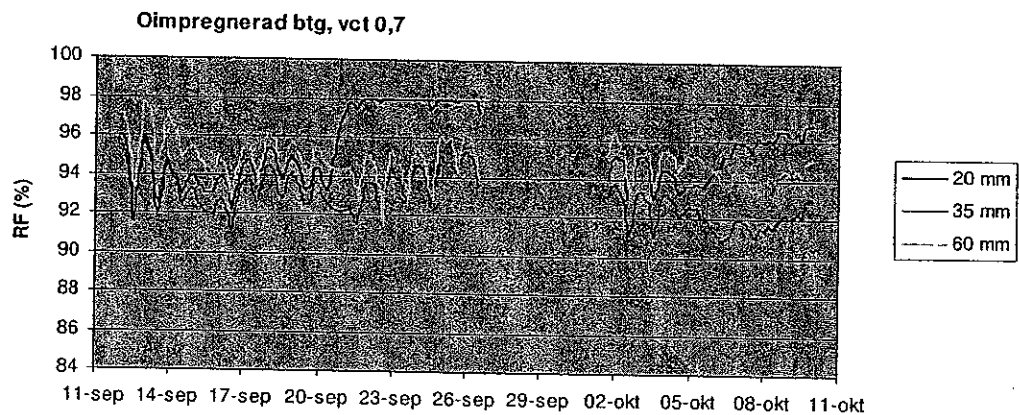
SCC hus - kalkfill.	Sats-storlek	25	liter	Datum	2002-07-22			
		Densitet	Mängd	Procent	Fukthalt	Absorption	Amount	
		(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)			(kg)	
Cement	Byggcement	3,150	300				7,50	
Superplasticerande	Glenium 51	1,100	2,04		0,65		0,05	
Plasticerande					0		0,00	
Luftporbildande	Micro Air 10%	1,035	0		0,99		0,00	
Vatten		1,000	208,674				4,32	
Filler	Kalkfiller L40	2,610	165	0			4,13	
Sand	0-2 R6	0,000	239	0	4,47	0	6,24	
Grus	0-8 Enköping	2,650	872	0	2,9	0	22,43	
Sten	8-16 Enköping	2,650	599	0	0	0	14,98	
Totalt aggregat			1875	0				
Densitet			2386					
Lufthalt		2 %						
vct		0,7						

ANLÄGGNINGSBETONG

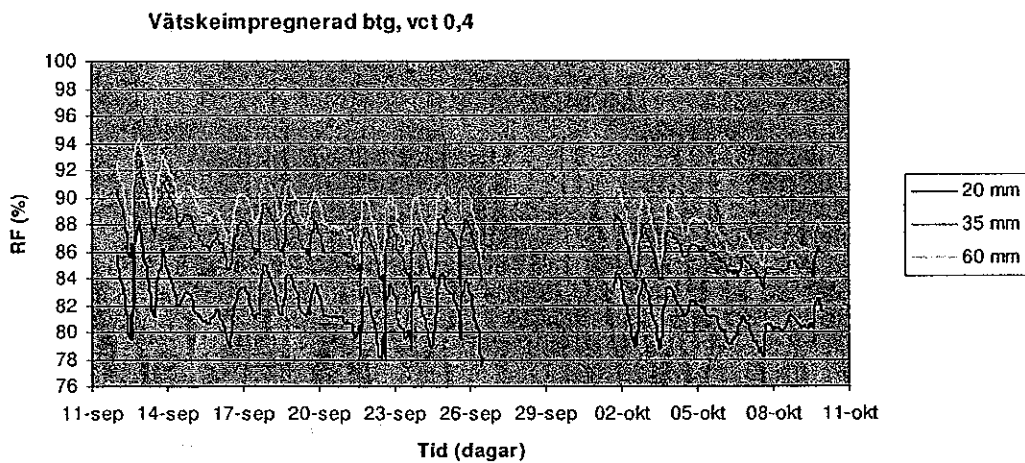
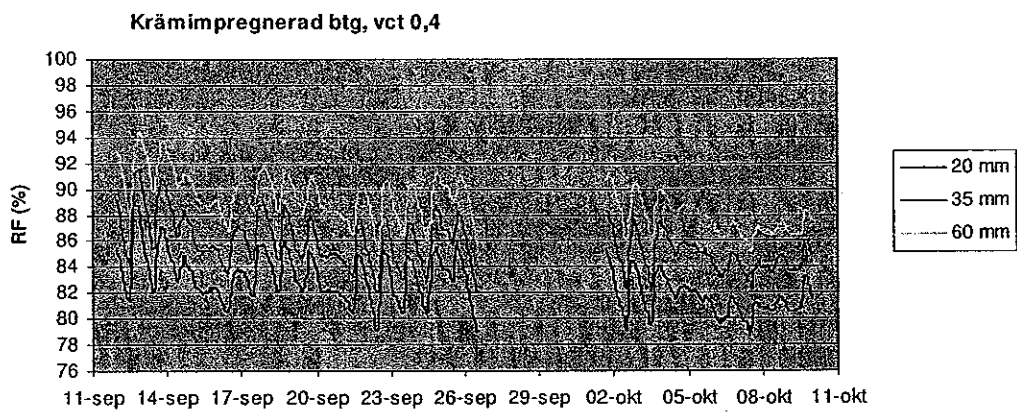
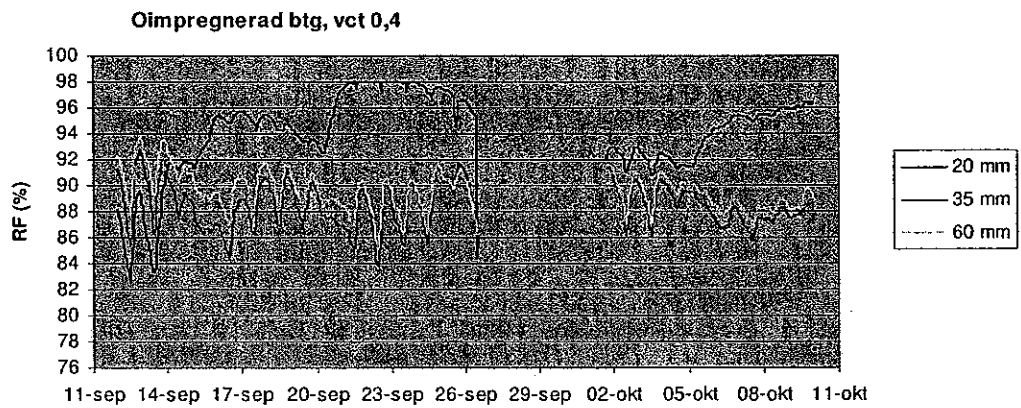
SCC anl - kalkfill.	Sats-storlek	25	liter	Datum	2001-11-22			
		Densitet	Mängd	Procent	Fukthalt	Absorption	Amount	
		(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)			(kg)	
Cement	Anläggningscement	3,150	400				10,00	
Superplasticerande	Glenium 51	1,100	2,92		0,65		0,07	
Plasticerande					0		0,00	
Luftporbildande	Micro Air 10%	1,035	1,2		0,99		0,03	
Vatten		1,000	156,914				3,08	
Filler	Kalkfiller L40	2,610	180	0			4,50	
Sand	0-2 R6	0,000	149	0	6,46	0	3,97	
Grus	0-8 Enköping	2,650	836	0	2,88	0	21,50	
Sten	8-16 Enköping	2,650	716	300	0	0	17,90	
Totalt aggregat			1881	300				
Densitet			2442					
Lufthalt		2 %						
vct		0,4						

Bilaga 2 - Fuktinträngning

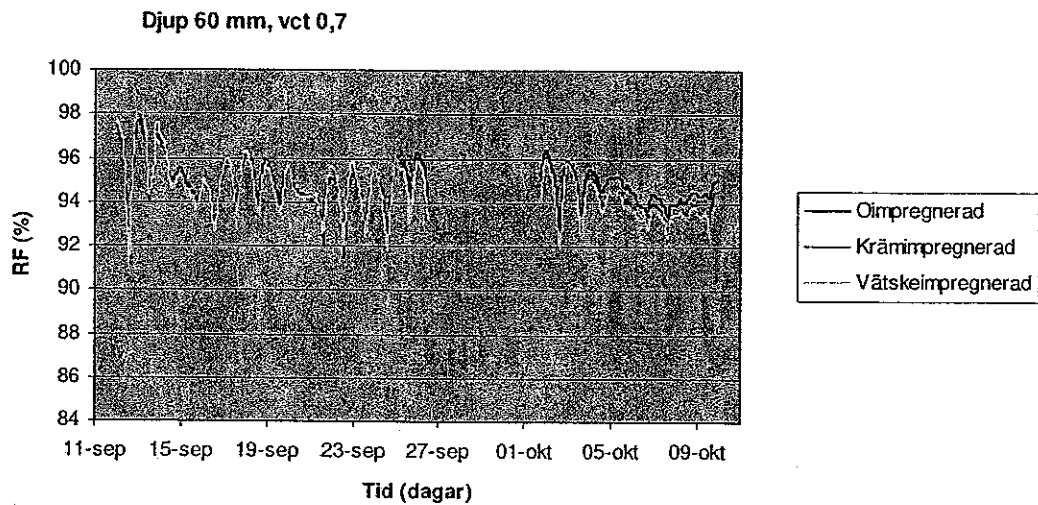
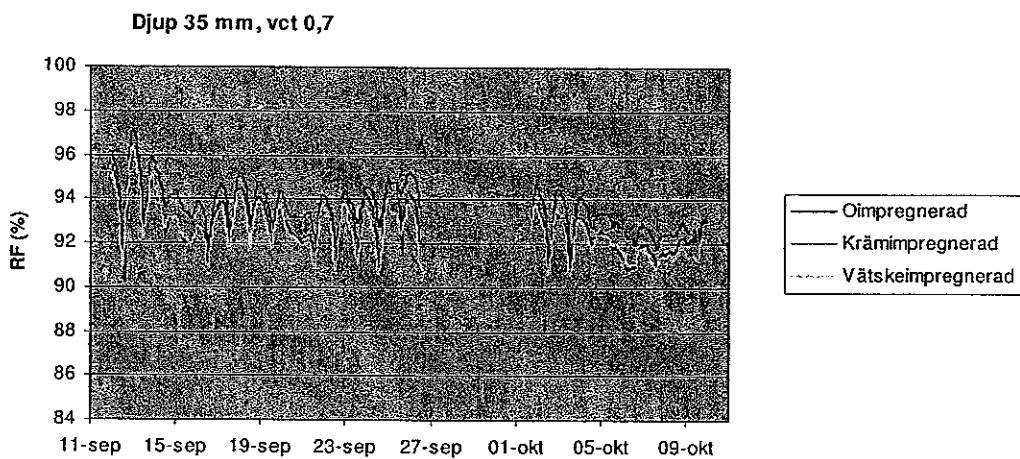
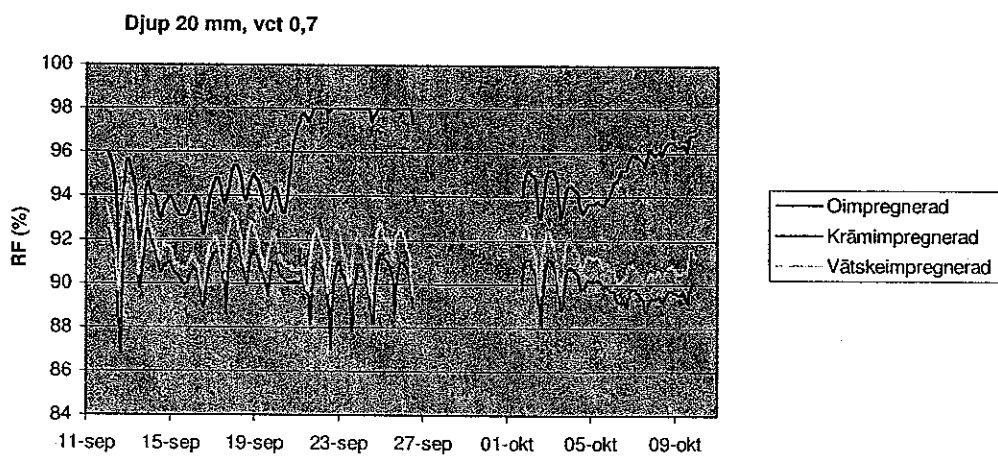
Bilaga 2 - Fuktinträngning



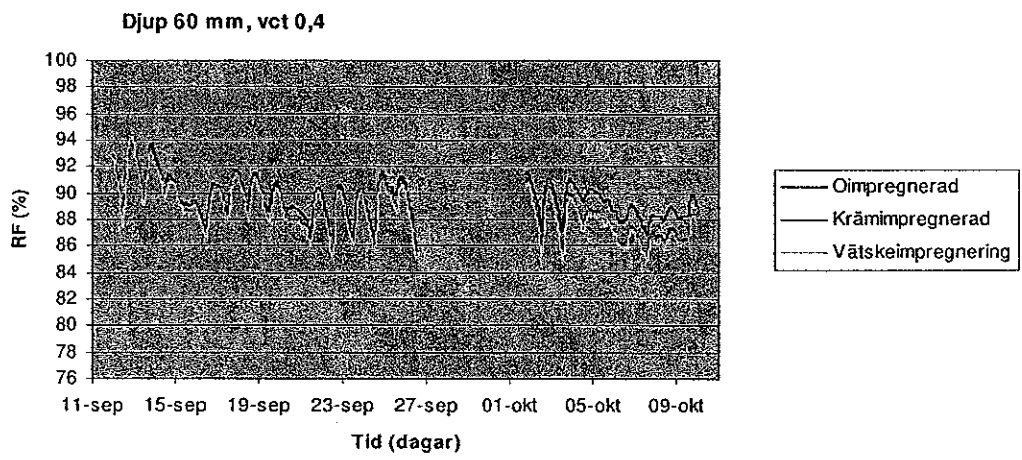
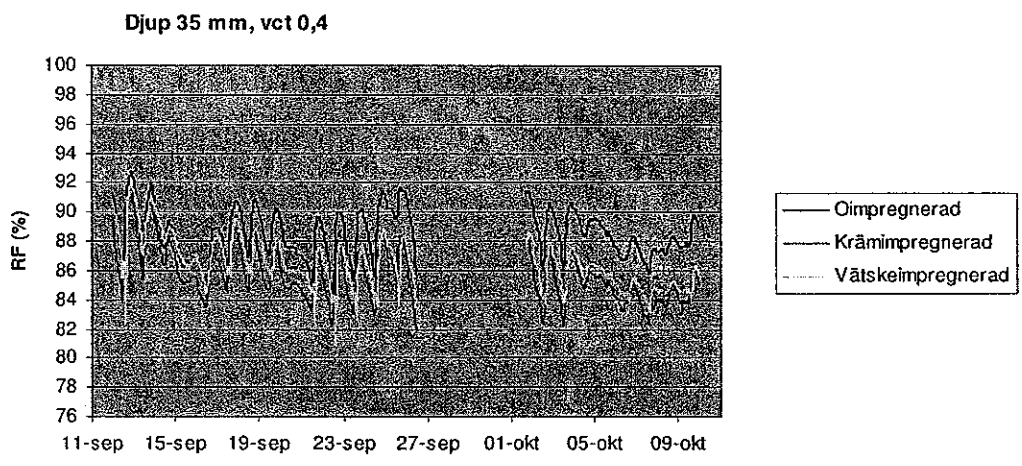
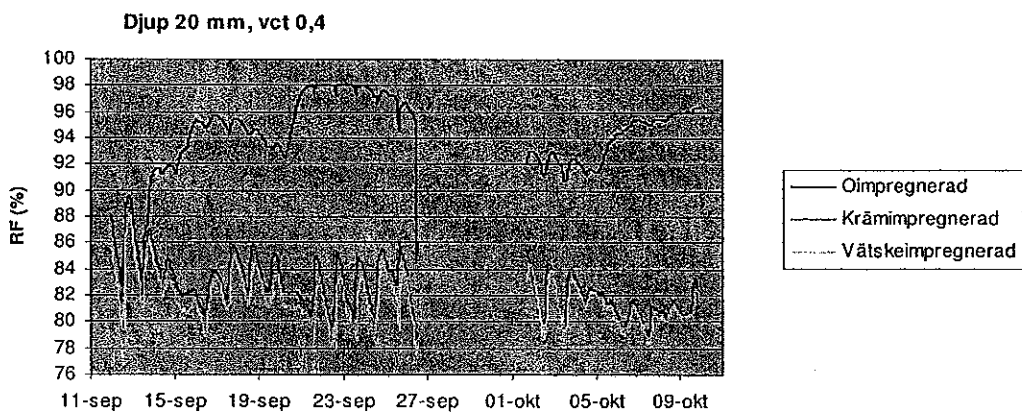
Bilaga 2 - Fuktinträngning



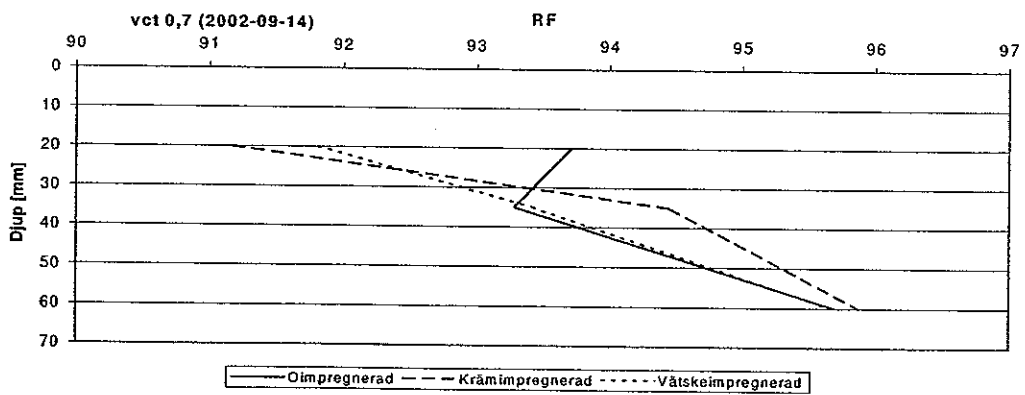
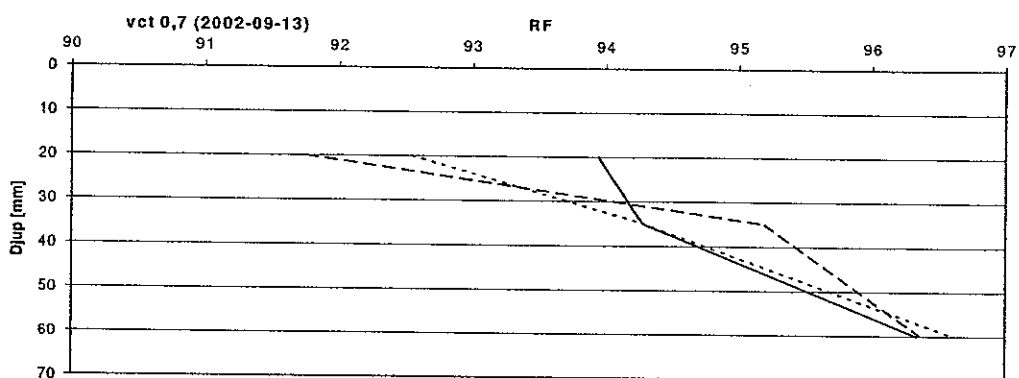
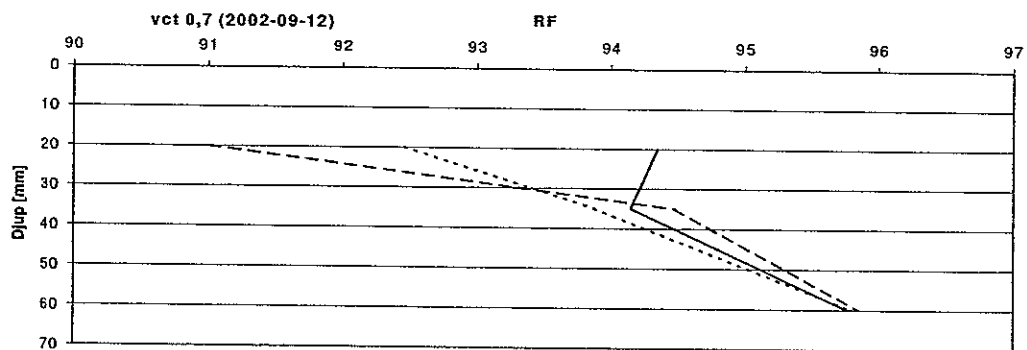
Bilaga 2 - Fuktinträngning



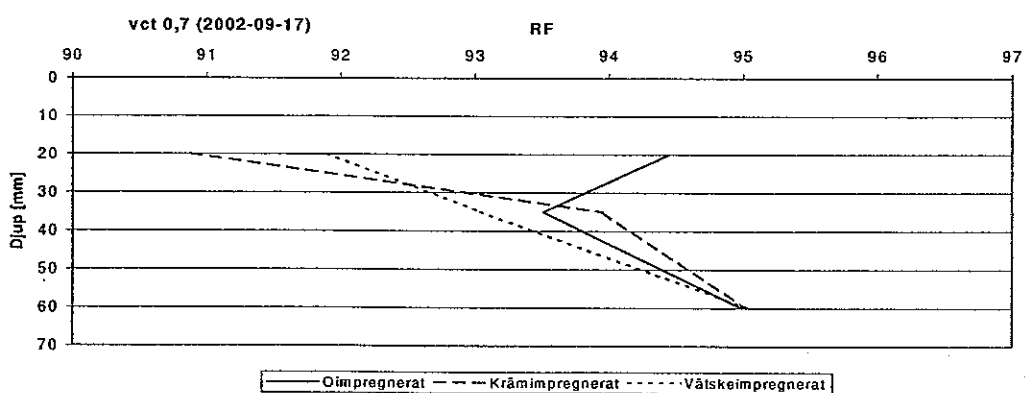
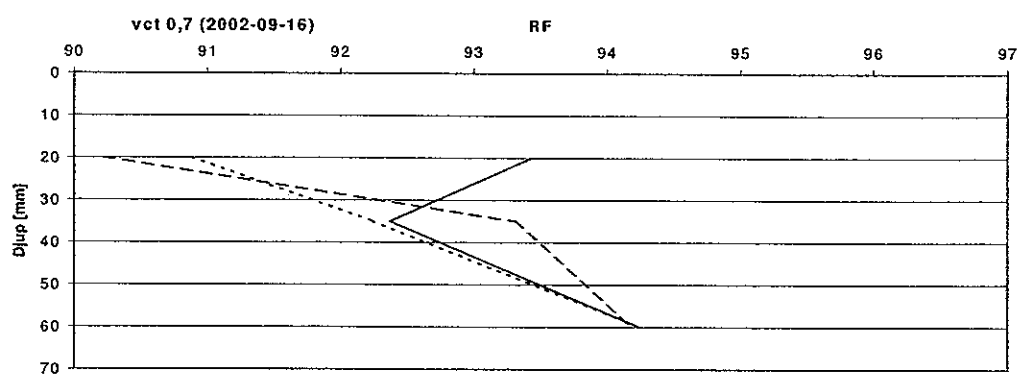
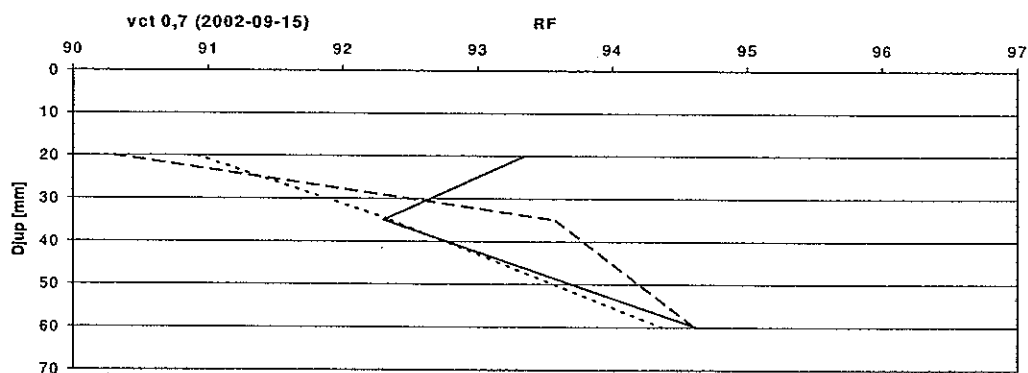
Bilaga 2 - Fuktinträngning



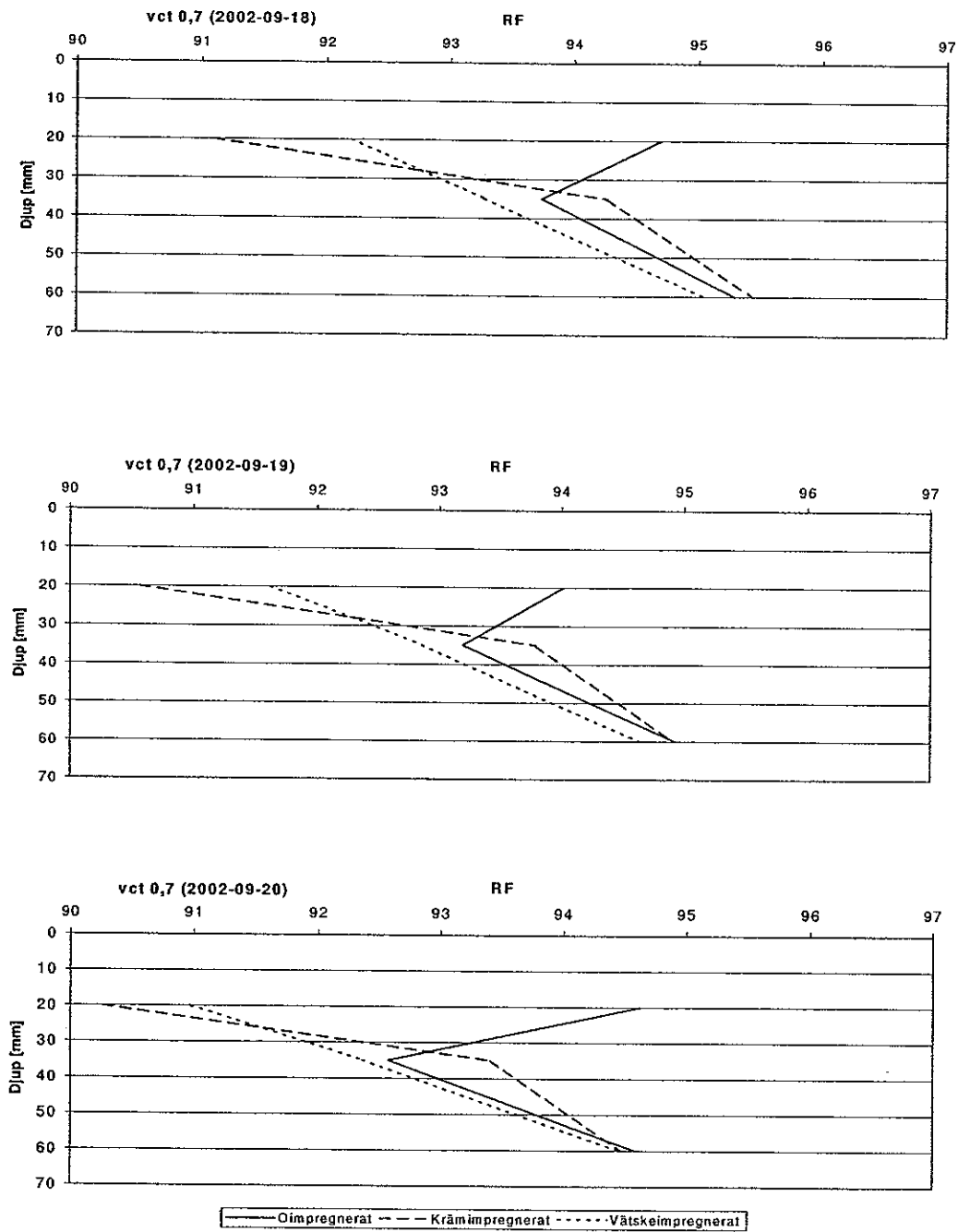
Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil



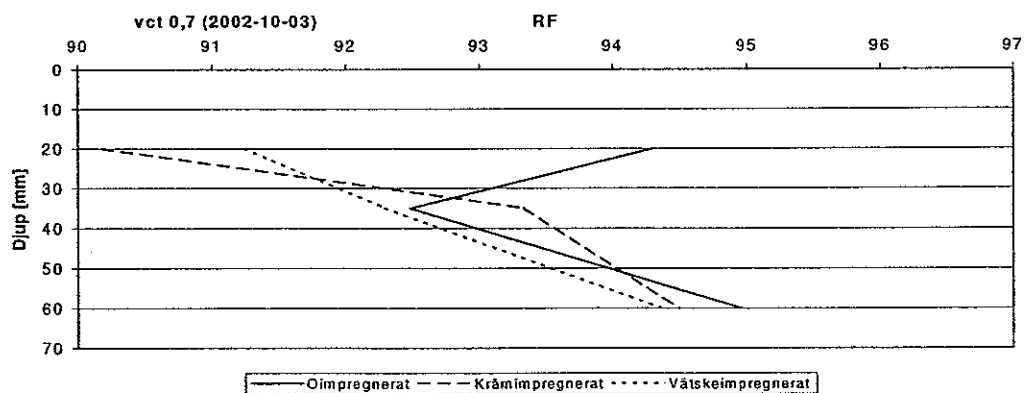
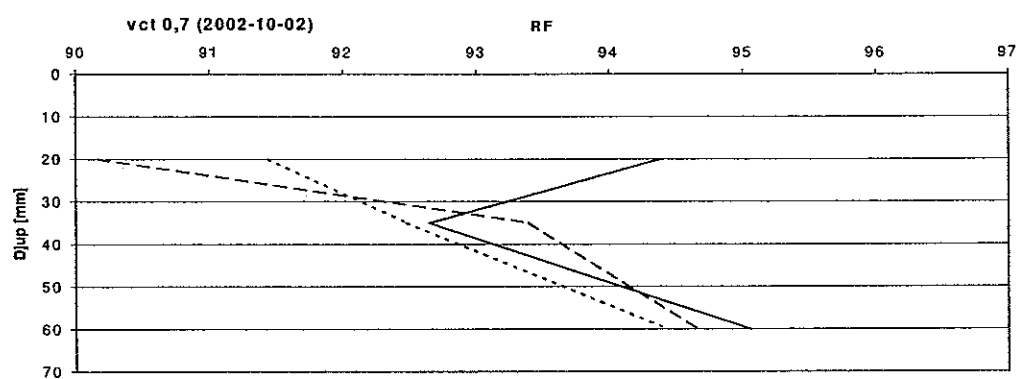
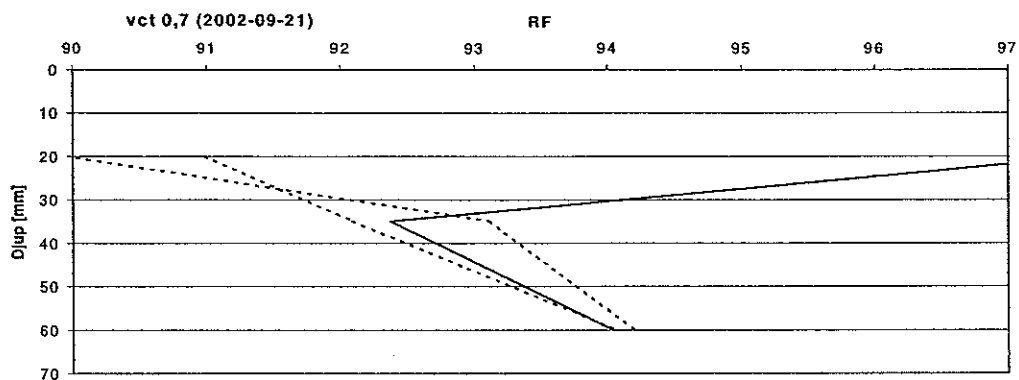
Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil



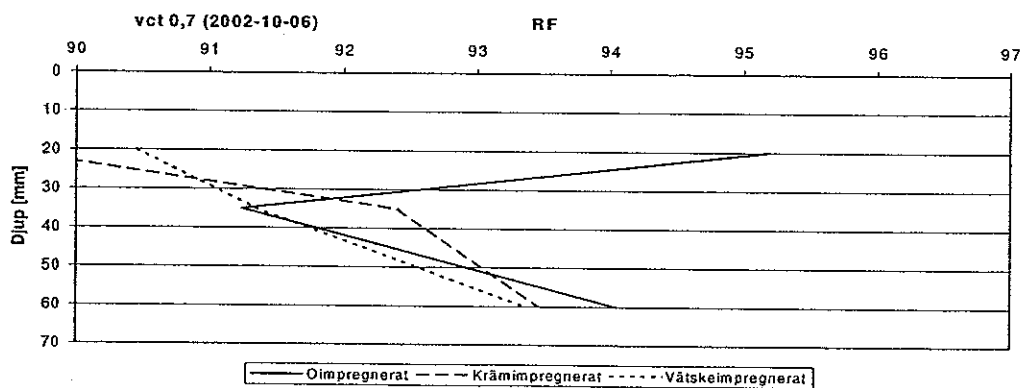
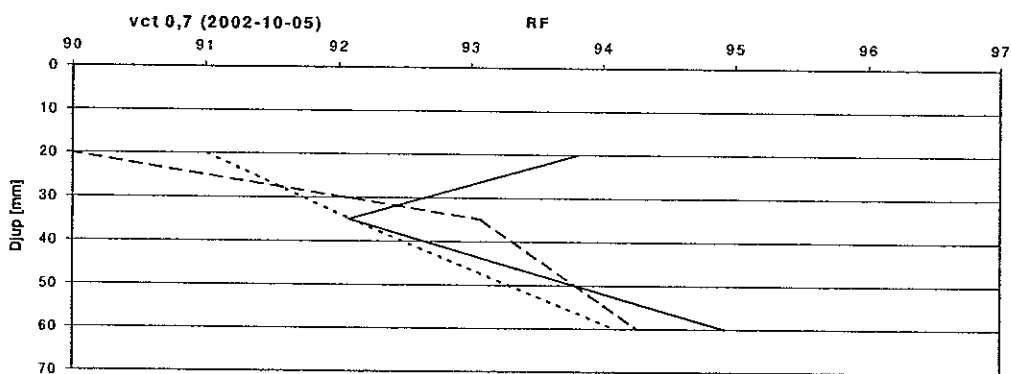
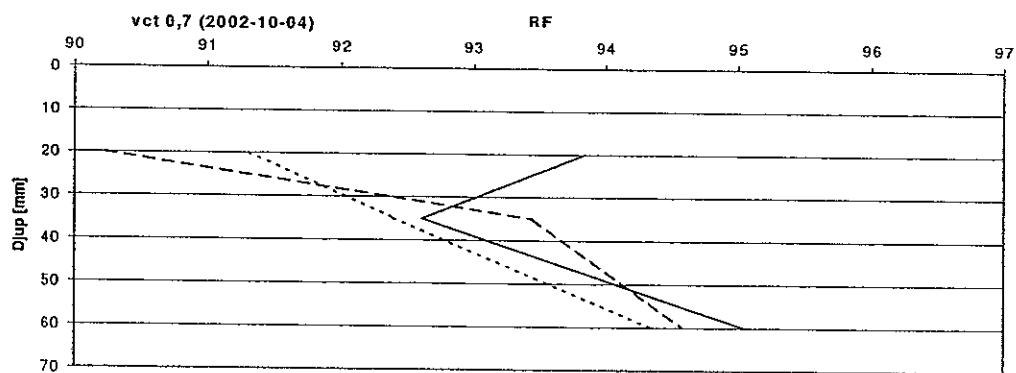
Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil



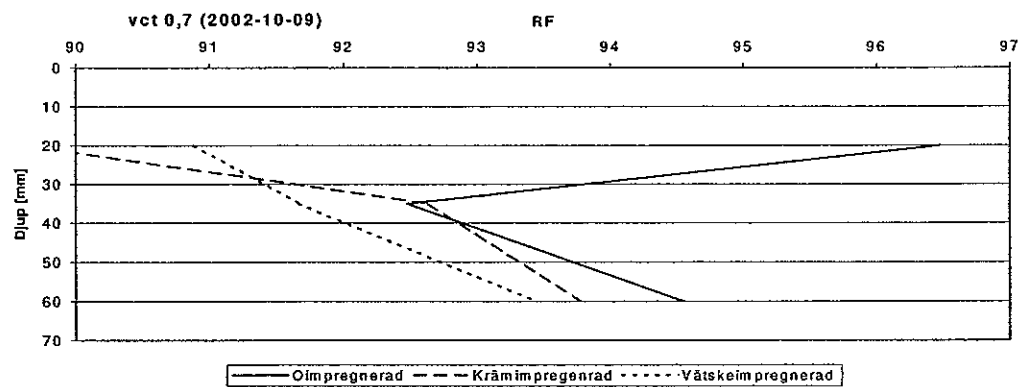
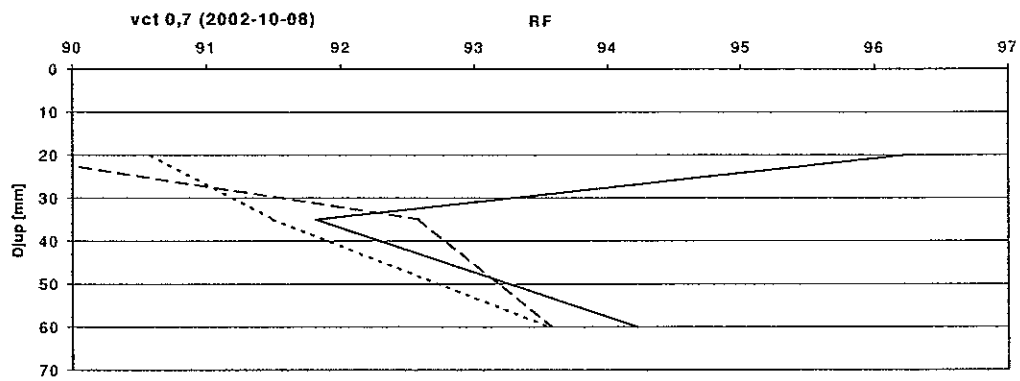
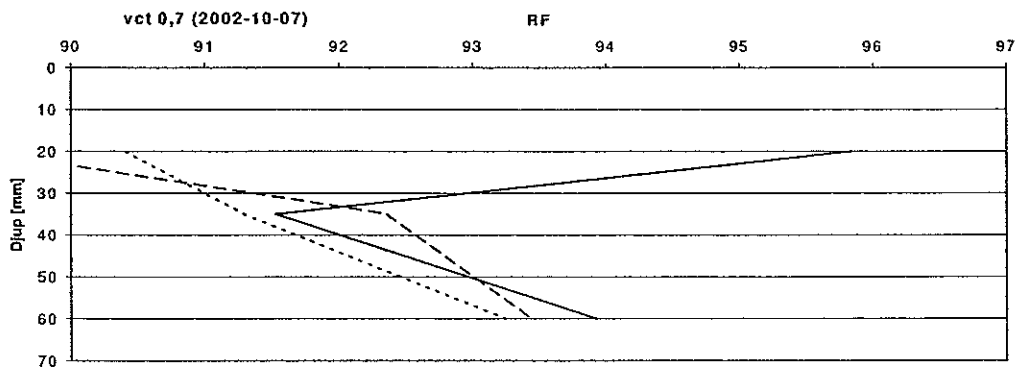
Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil



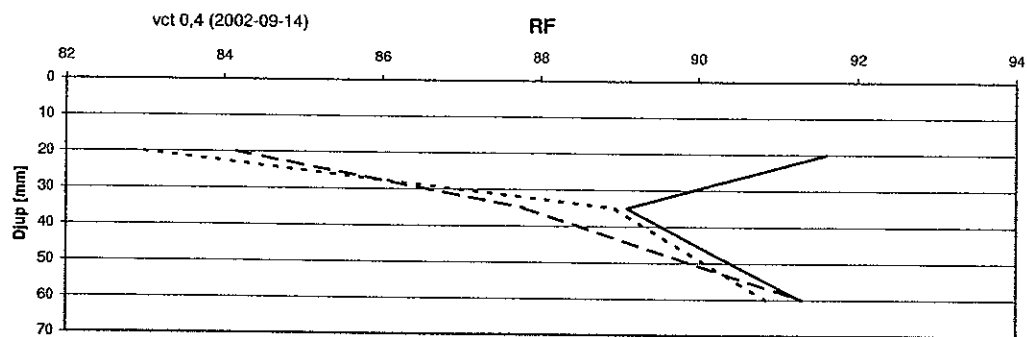
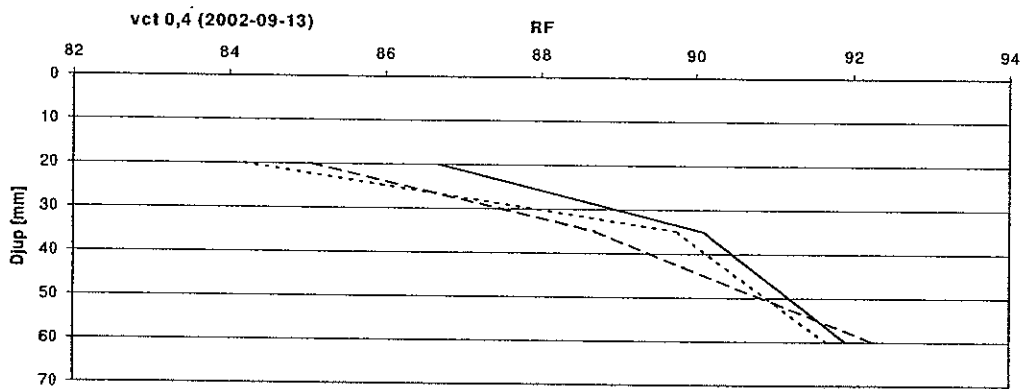
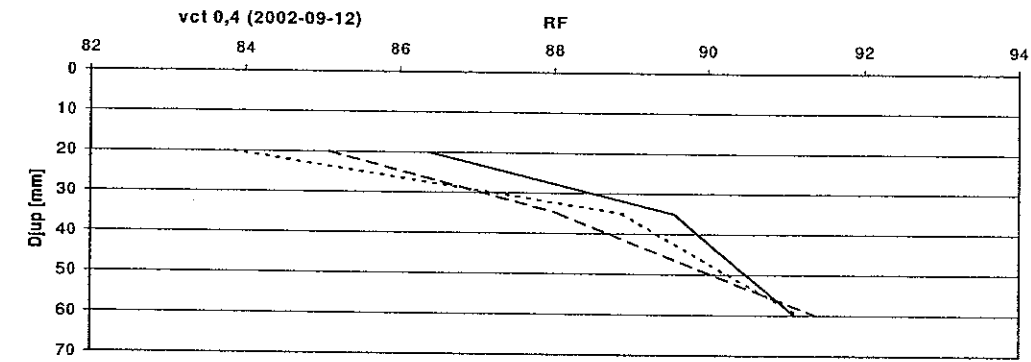
Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil



Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil

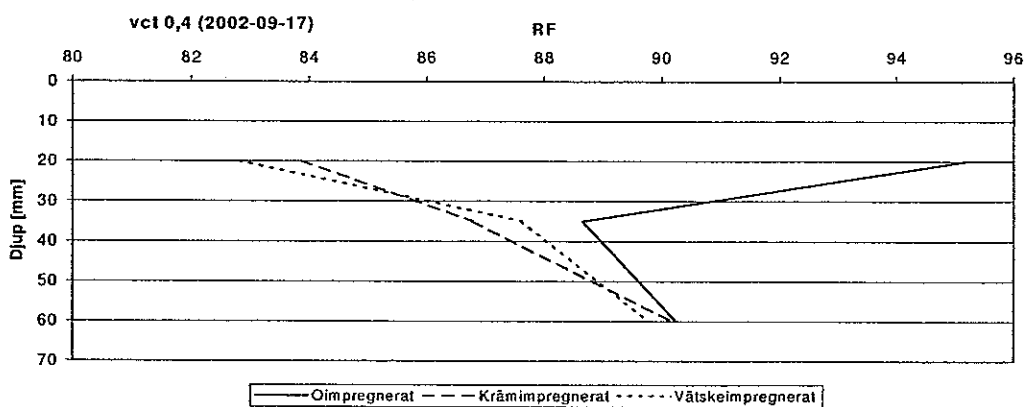
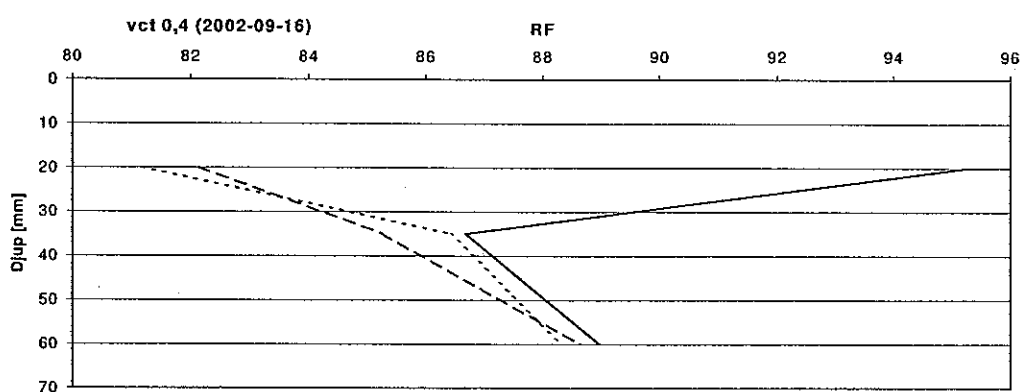
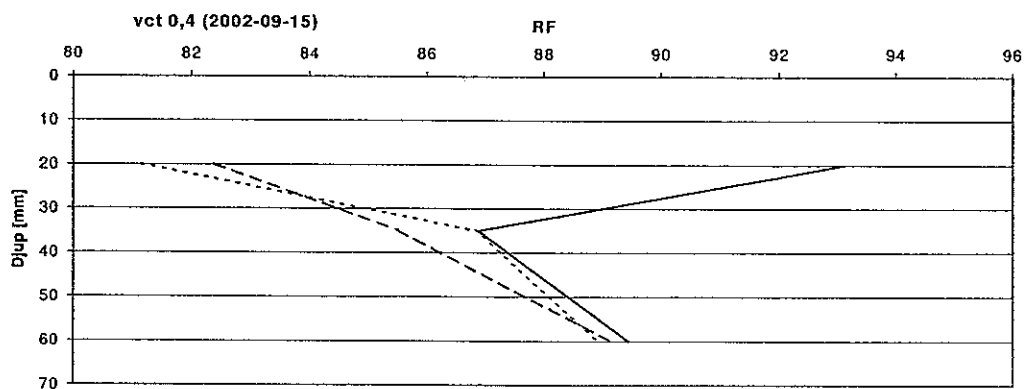


Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil

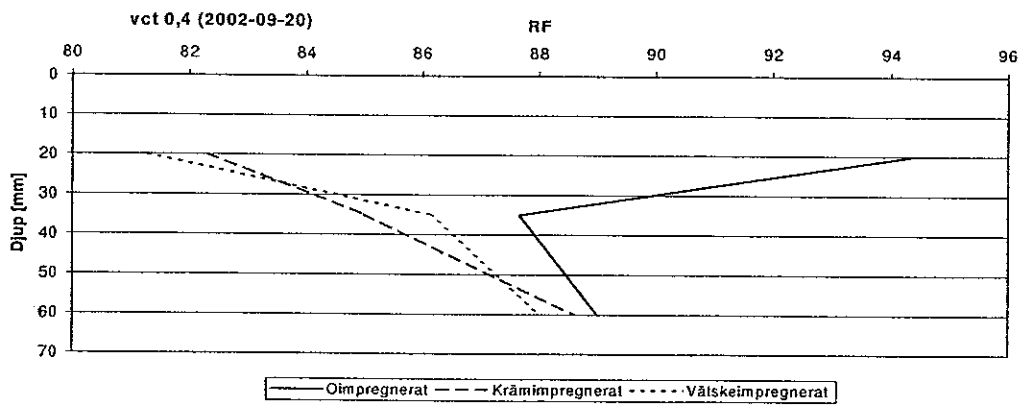
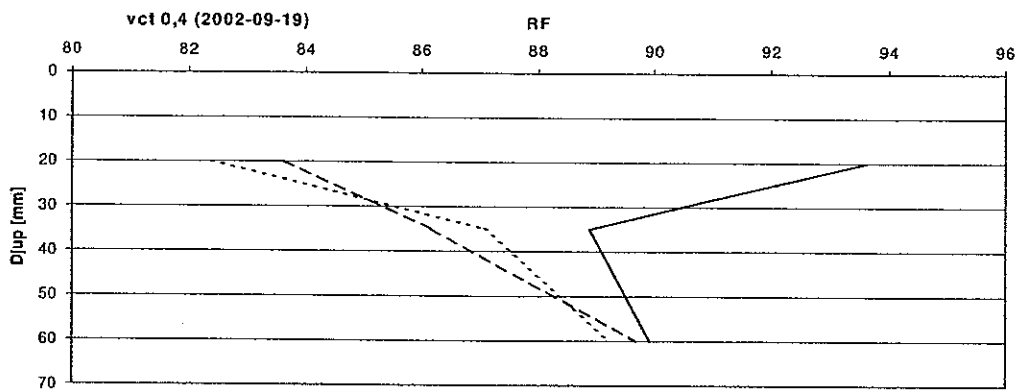
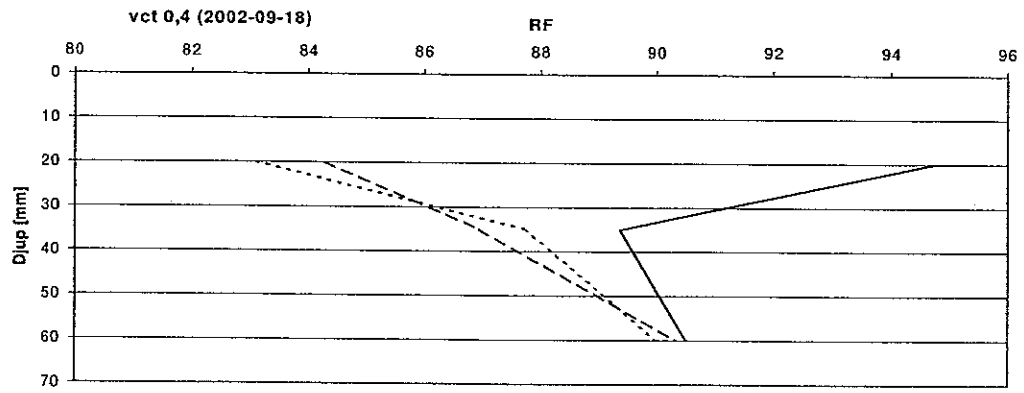


— Öimpregnerat - - - Krämimpregnerat ····· Vätskeimpregnerat

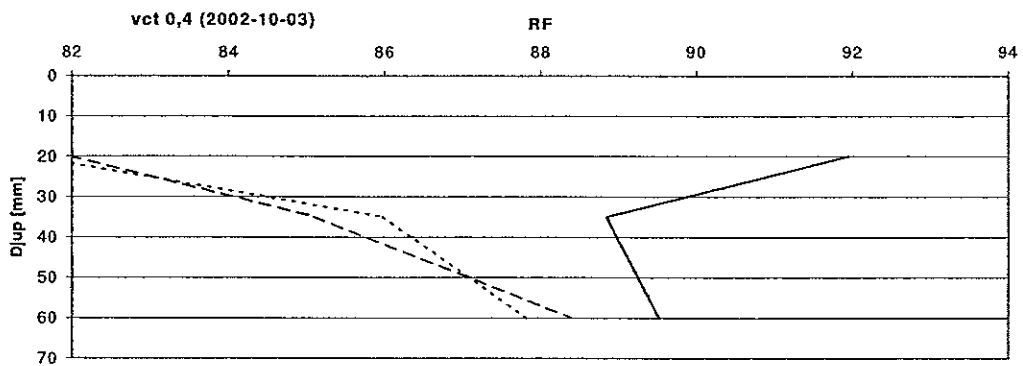
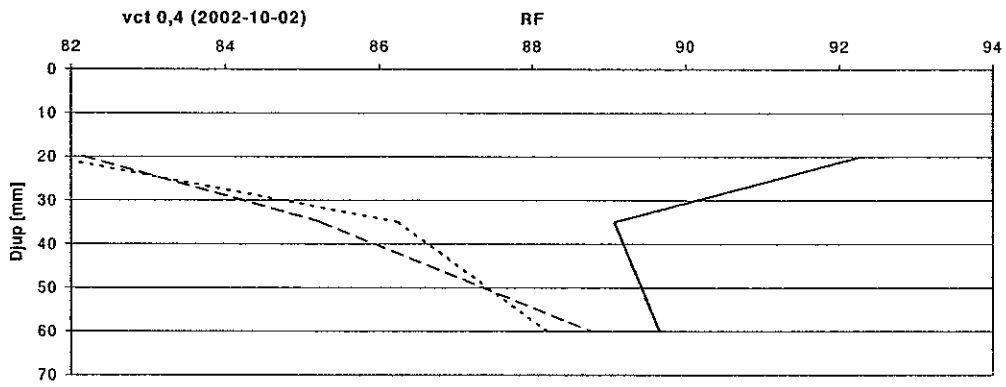
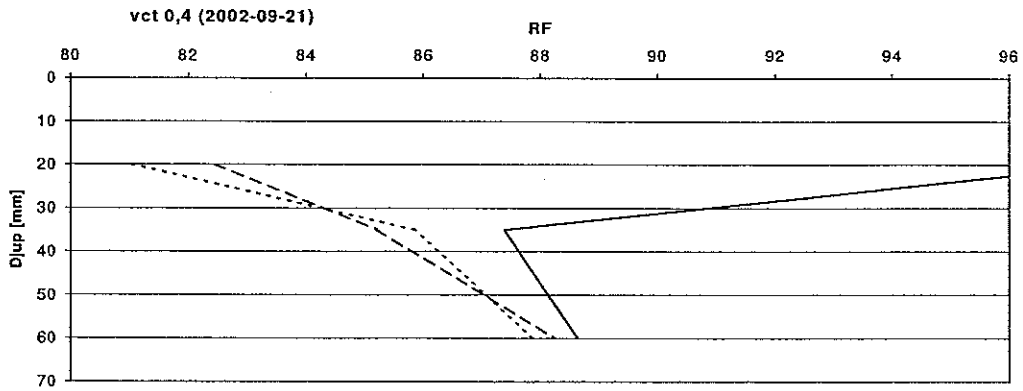
Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil



Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil

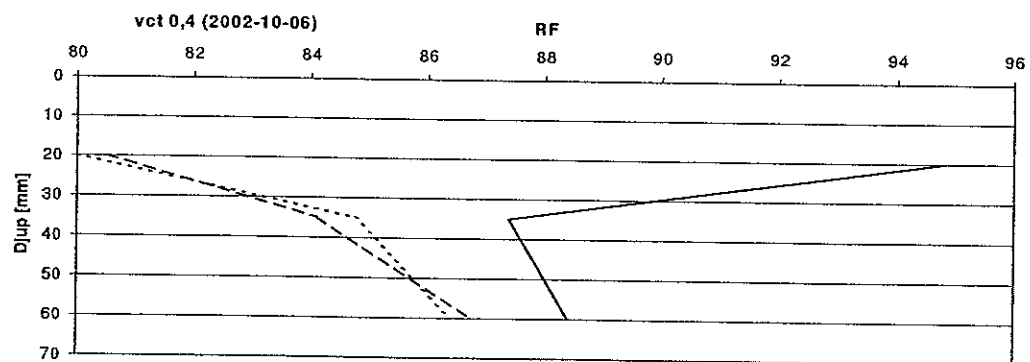
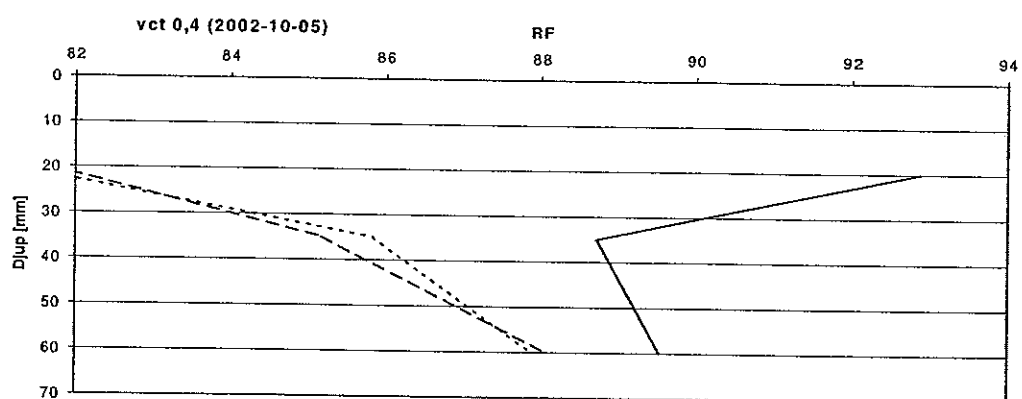
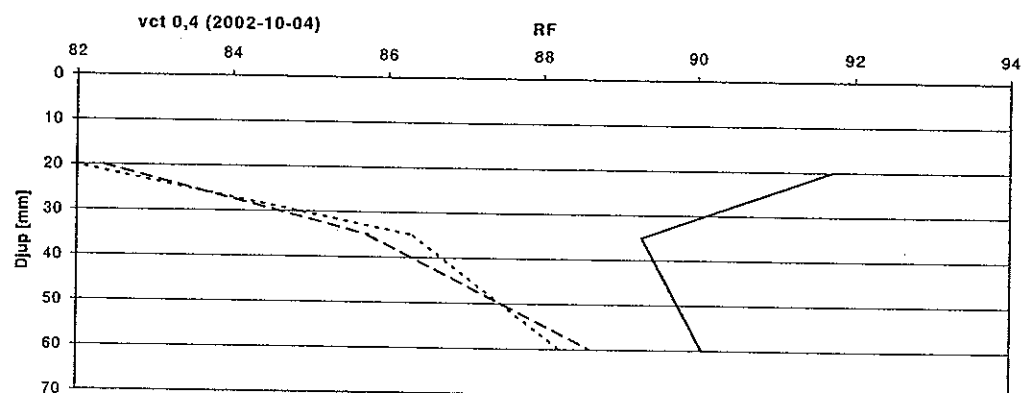


Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil



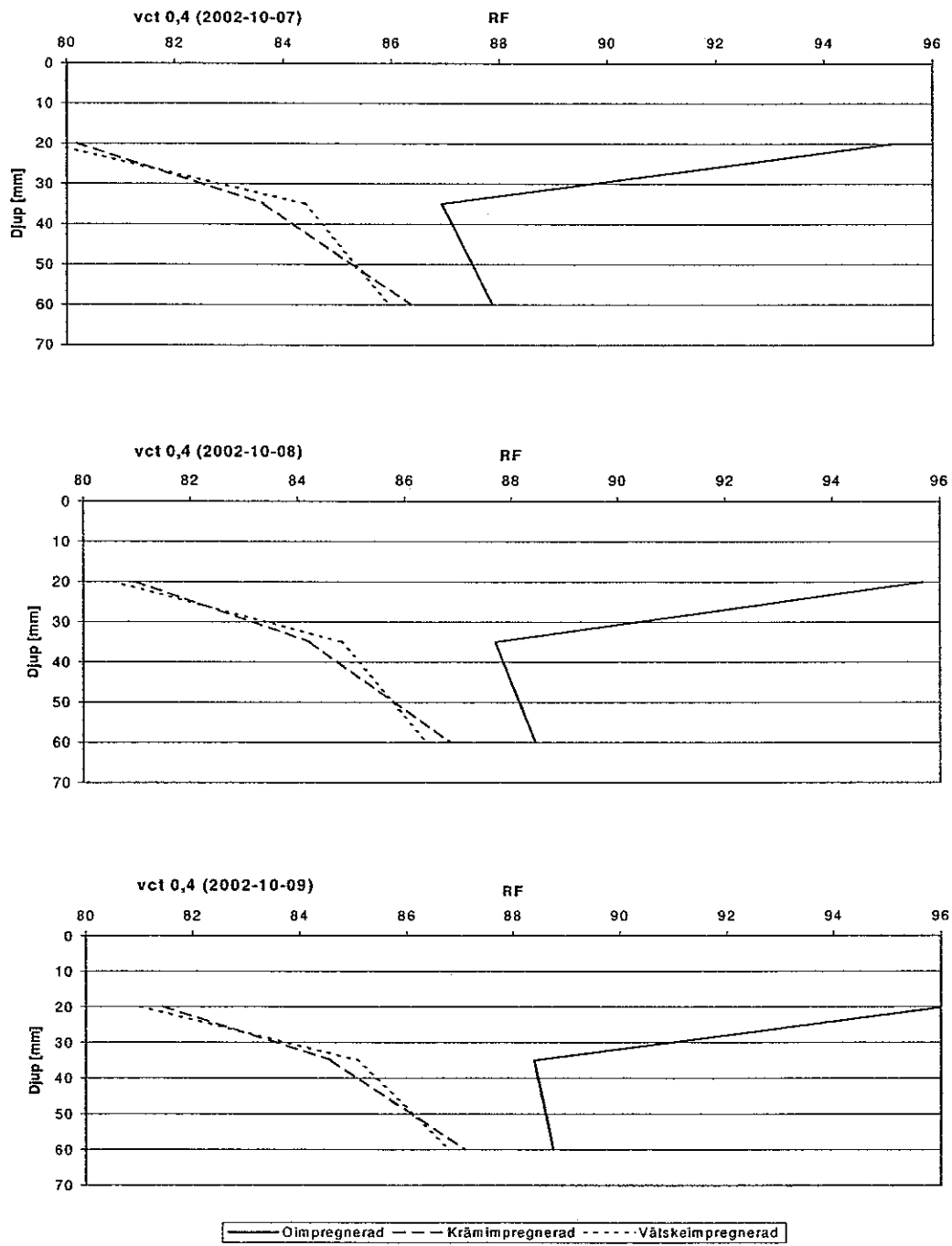
— Ömpregnerat - - - Krämpregnerat ····· Vätskeimpregnerat

Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil



— Ömpregnerat - - - Krämimpregnerat ····· Vätskeimpregnerat

Bilaga 2 - Fuktinträngning - Fuktprofil



Bilaga 3 - Kloridinträngning

RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium/REPORT Issued by an Accredited Laboratory



Skanska Asfalt & Betong
Att. Katarina Paulou
Asfalt o Betong, Betonggruppen
Box 49
123 21 FARSTA

Handläggare, enhet / Handled by, department
Tang Luping, Byggnadsteknik
+46 (0)33 16 51 38, tang.luping@sp.se

Datum / Date Beteckning / Reference Sida / Page
2002-09-12 F217018 1 (1)

Bestämning av kloridmigrationskoefficient enligt NT BUILD 492 (1 bilaga)

1 Provföremål

6 st 150 mm betongkuber, märkta VCT 0,40-A; -B; -C respektive VCT 0,70-A; -B; -C, inkom till SP 2002-08-30. Enligt uppdragsgivarens uppgifter är 2 st kuber ur varje serie ytbehandlade med impregneringsmedel. Betongen tillverkades i juli 22 respektive 23, 2002. Kuberna var avsedda för kloridmigrationsprovning på behandlad yta, vilken var märkt med "B".

2 Hantering av provkropparna

Ur varje kub borrades en kärna med diametern 100 mm vinkelrätt mot den yta som var markerad med "B". En skiva med tjockleken 50 mm kapades sedan från den behandlade ytan. Skivorna användes som provkroppar för kloridmigrationsprovning.

3 Provningsmetod

Kloridmigrationskoefficienten bestämdes enligt NT BUILD 492-99.

4 Provningsresultat

Provningsresultaten redovisas i bilaga 1 och avser enbart de provade föremålen.

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
Byggnadsmaterial

Cathrine Evertson
Tekniskt ansvarig

Tang Luping
Teknisk handläggare

Bilaga: 1 Provningsresultat

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Box 857, 501 15 BORÅS, Tfn 033-16 50 00, Fax 033-13 55 02, E-post info@sp.se, Org.nr 556464-6874
SP Swedish National Testing and Research Institute, Box 857, SE-501 15 BORÅS, SWEDEN, Telephone + 46 33 16 50 00, Telefax + 46 33 13 55 02, E-mail info@sp.se, Reg.No 556464-6874

Ackrediterat laboratorium utsetts av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E). Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och SP i förväg skriftligen godkänt annat.

Accredited laboratories are appointed by the Swedish Board for Accreditation and Conformity Assessment (SWEDAC) under the terms of the Act. The Swedish accredited laboratories meet the requirements set up in SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) and ISO/IEC Guide 25 (1990:E). This report may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of SWEDAC and SP.

RAPPORT

Datum/Date
2002-09-12

Beteckning/Reference
F217018

Sida/Page
1(2)
Bilaga I

**Provning för Kloridmigrationskoefficient
enligt NT BUILD 492**

Uppdragsgivare:	Skanska Asfalt och Betong			
Uppdragsnr:	F217018			
Provd:	Impregnering VCT 0,40			
Ålder vid provstart, dygn:	45			
Provningsdatum:	2002-09-04			
Provutav:	Sten Johansson			
Medelvärde av D_{max} :	9.9			
Standardavvikelse:	0.5			
Variationskoefficient:	4.5			
Provningsmarkering:	A	B	C	
Diameter d :	100	100	100	mm
Flöcklek L :	51.3	50.4	50.6	mm
Kloridkoncentration C_0 :	10	10	10	mg/cm ³
Spänning U :	30	30	30	V
Strömstyrka vid start I :	46	40	38	mA
Temperatur vid start T :	293	293	293	K
Provningsens löplängd l :	24.0	24.0	24.0	mm
Strömstyrka vid slut I :	52	50	48	mA
Temperatur vid slut T :	296.3	296.3	296.3	K
Genomsnittligt angränsningsdjup x :	22	20.9	20.6	mm
Migrationskoefficient D_{max} :	10.4	9.7	9.6	mm ² /dygn
Utväddningskoefficient α :	0.27	0.25	0.25	10 ⁻⁶ /K
Individa kloridinträngningsdjup				
Inträngningsdjup x_{10} :	25.0	20.8	20.9	mm
Inträngningsdjup x_{20} :	21.1	20.4	21.9	mm
Inträngningsdjup x_{30} :	22.4	22.8	20.5	mm
Inträngningsdjup x_{40} :	23.4	19.8	21.5	mm
Inträngningsdjup x_{50} :	18.8	21.4	20.0	mm
Inträngningsdjup x_{60} :	22.9	20.0	19.6	mm
Inträngningsdjup x_{70} :	20.6	21.0	19.8	mm
Anteckningar:				

RAPPORT

Datum/Date
2002-09-12

Beteckning/Reference
F217018

Sida/Page
2(2)
Bilaga 1

Provning för Kloridmigrationskoefficient enligt NT BUILD 492

Uppdragsgivare:	Skanska Asfalt och Betong			
Uppdragsnr:	F217018			
Provd:	Impregnering VCT 0,70			
Ålder vid provstart, dygn:	44			
Provningsdatum:	2002-09-04			
Provare av:	Sten Johansson			
Medelvärde av D_{rel} :	19.3			
Standardavvikelse:	11.5			
Variationskoefficient:	59.5			
Provmärkning:	A	B	C	
Diameter ϕ :	100	100	100	mm
Tjocklek t :	49.5	49.9	49.4	mm
Kloridkoncentration C_s :	10	10	10	kg/m ³
Spänning σ :	20.2	20.2	20.2	N/mm ²
Strömsluka vid start S_0 :	70	34	40	mm
Temperatur vid start T_0 :	293	293	293	K
Provningens längd L :	24.1	24.1	24.1	mm
Strömsluka vid slut S_L :	76	56	66	mm
Temperatur vid slut T_L :	296.3	296.3	296.3	K
Cementhalten i betongen C_b :	45.2	16.7	21	%
Migrationskoefficient D_{rel} :	32.4	11.2	14.2	
Utvidgad matoskema $(k=2)$:	0.60	0.40	0.44	
Individa kloridinträngningsdjup				
Inträngningsdjup X_{10} :	45.5	12.8	Sten	mm
Inträngningsdjup X_{15} :	45.3	13.3	9.0	mm
Inträngningsdjup X_{20} :	45.1	10.5	8.4	mm
Inträngningsdjup X_{25} :	42.5	14.6	15.0	mm
Inträngningsdjup X_{30} :	45.9	Sten	12.0	mm
Inträngningsdjup X_{35} :	46.3	31.8	35.5	mm
Inträngningsdjup X_{40} :	45.6	17.1	45.9	mm
Anteckningar:				

Bilaga 4 - Frostbeständighet

SKANSKA

1620:01

MYCKET GOD Betong

Sidan 1 av 1

Beställare :
Examensarbete, Maria Olsson, Johan Sjödin
KTH
STOCKHOLM
Produkt :

Provtegn.datum : 2002-07-22
Ankomstdatum : 2002-07-22
Analytiskt datum : 2002-08-12
Analytiskt slut : 2002-10-17
Beställarens ref.nr :

Provnr : 200200078
Idnummer :
Ompreg vct 0.4

Leverantör :

Provtagningsplats :
Betonglabbet

Entreprenör :
Skanska Sverige AB

Provtogare :

Objekt :
Examensarbete

Märkning :

SS 13 72 44 BETONGPROVNING - HÄRDNAD BETONG - AVFLAGNING VID FRYSNING (KUB)

Betongfabrikat : Fabriksbetong
Cementtyp : Cementfabrikat
Anläggning : Cementa
Tillsatemedel : Fabrikat
Luftporbildande : Micro Air
Flyttillsatemedel : Glenium 51

Cementhalt (kg/m³)

Mängd i % av cementhalten

Uppmätt konststens

Uppmätt lufthalt

VCT / VBT
0,4

Max stenstorlek (mm)
16

Märkning	Avflagningsresultat (kg/m ²) efter X dygn				
	7	14	28	42	56
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

Resultat		0,00	0,00	0,00	0,01
Bedömning	Tillverkningsförfarande	Provningsslag		Notering :	
Mycket god	1	A			
Betongens frostbeständighet är bedömd enligt tabell i kommentar till SS137244.					
SS 137121	SS 137124	Max stenstorlek (mm)		Ort och datum Farsta 2002-10-23	
Märkning	Resultat				
		16			
SS 137244 Frostprovning					
Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommet prov. Mätosäkerhetsberäkning finns och kan fås på begäran. (E) = Enkelprov					

Skanska Sverige AB
Vägtekniskt Centrum Nord, Farsta
Box 49
123 21 Farsta

Besöksadress
Frykdalsb. Lårboda
Styrelsens säte

Telefon
08-683 43 50
Telefax
08-605 94 73

Org.nummer
556033-0088
VAT-nummer

Postgiro
Bankgiro

SKANSKA

1620:01

MYCKET GOD Betong

Sidan 1 av 1

Beställare :
Examensarbete, Maria Olsson, Johan Sjödin
KTH
STOCKHOLM
Produkt :

Provtagn.datum : 2002-07-22
Ankomstdatum : 2002-07-22
Beställarens ref.nr :

Analys - start : 2002-08-12
Analys - slut : 2002-10-17

Provnr : 200200078
Idnummer :
Krämimp vct 0.4

Leverantör :

Provtagningsplats :
Betonglabbet

Entreprenör :
Skanska Sverige AB

Provtagare :

Objekt :
Examensarbete

Märkning :

SS 13 72 44 BETONGPROVNING - HÄRDNAD BETONG - AVFLAGNING VID FRYSNING (KUB)

Betongfabrikat Fabrikbetong
Cementtyp Cementfabrikat
Anläggning Cementa
Tillsatemedel Fabrikat
Luftporbildande Micro Air
Flyttillsatemedel Glenium 51

Cementhalt (kg/m³)

Mängd i % av cementhalten

Uppmätt konsistens Uppmätt lufthalt VCT / VBT Max stenstorlek (mm)
0,4 18

Märkning	Avflagnings (kg/m ²) efter X dygn				
	7	14	28	42	56
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Resultat			0,01		
Bedömning	Tillverkningsförfarande	Provningsmetod	Notering :		
Mycket god	1	A			
Betongens frostbeständighet är bedömd enligt tabell i kommentar till SS137244.					
SS 137121	SS 137124	Max stenstorlek (mm)	Ort och datum Farsta 2002-10-23		
Märkning	Resultat	Resultat			
		18			
SS 137244 Frostprovning					
<p>Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommet prov. Måttosäkerhetsberäkning finns och kan fås på begäran. (E) = Enkelprov</p>					

Skanska Sverige AB
Vägtekniskt Centrum Nord, Farsta
Box 49
123 21 Farsta

Besöksadress
Frykdalsb. Larsboda
Styrelsens säle

Telefon
08-683 43 50
Telefax
08-605 94 73

Org.nummer
566033-9098
VAT-nummer

Postgiro
Bankgiro

SKANSKA

1620:01

GOD Betong Sidan 1 av 1

Beställare : Examensarbete, Maria Olsson, Johan Sjödin KTH STOCKHOLM Produkt :	Provtagn.datum : 2002-07-22 Ankomstdatum : 2002-07-22 Beställarens ref.nr :	Analys - start : 2002-08-12 Analys - slut : 2002-10-17	Provnr : 200200078 Idnummer : V.Imp vct 0.4
Leverantör :	Provtagningsplats : Betonglabbet	Provtagningsmetod : Betonglabbet	
Entreprenör : Skanska Sverige AB	Provtagningsmetod : Betonglabbet	Provtagningsmetod : Betonglabbet	
Objekt : Examensarbete	Märkning :		

SS 13 72 44 BETONGPROVNING - HÄRDNAD BETONG - AVFLAGNING VID FRYSNING (KUB)

Betongfabrikat	Fabriksbetong			
Cementtyp	Cementfabrikat			Cementhalt (kg/m ³)
Anläggning	Cementa			
Tillsatemedel	Fabrikat			Mängd i % av cementhalten
Luftporbildande	Micro Air			
Flyttillsatemedel	Glenium 51			
Uppmätt konsistens	Uppmätt lufthalt		VCT / VBT 0,4	Max stenstorlek (mm) 16

Märkning	Avflagning (kg/m ²) efter X dygn				
	7	14	28	42	56
1	0,00	0,00	0,01	0,04	0,12
2	0,00	0,00	0,02	0,08	0,23
3	0,00	0,00	0,01	0,08	0,11
4	0,00	0,00	0,01	0,05	0,14

Resultat		0,00	0,02	0,06	0,15
Bedömning	Tillverkningsförfarande	Provningmetod		Notering :	
God	1	A			
Betongens frostbeständighet är bedömd enligt tabell i kommentar till SS137244.					
SS 137121	SS 137124	Max stenstorlek (mm)		Ort och datum Faresta 2002-10-23	
Märkning	Resultat	Märkning	Resultat		
			16		
SS 137244 Frostprovning					
<p style="text-align: center;"><small>Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommet prov. Mätosäkerhetsberäkning finns och kan läsa på begäran. (E) = Enkelprov</small></p>					

Skanska Sverige AB
Vägtekniskt Centrum Nord, Faresta
Box 49
123 21 Faresta

Besöksadress
Frykdalsb. Låsboda
Styrelsens säte

Telefon
08-683 43 50
Telefax
08-605 94 73

Org.nummer
866033-6086
VAT-nummer

Postgiro
Bankgiro

SKANSKA

1620:01

INTE ACCEPTABEL Betong

Sidan 1 av 1

Beställare:
Examensarbete, Maria Olsson, Johan Sjödin
KTH
STOCKHOLM
Produkt:

Provtagn.datum : 2002-07-23
Ankomstdatum : 2002-07-23
Beställarens ref.nr :

Provrnr : 200200078
Idnummer :
Olmpt vct 0.7

Leverantör:

Provtagningsplats :
Betonglabbet

Entreprenör:
Skanska Sverige AB

Provtagare:

Objekt:
Examensarbete

Märkning:

SS 13 72 44 BETONGPROVNING - HÄRDNAD BETONG - AVFLAGNING VID FRYSNING (KUB)

Betongfabrikat	Fabriksbetong			
Cementtyp	Cementfabrikat		Cementhalt (kg/m ³)	
Byggcement	Cementa			
Tillsattemedel	Fabrikat		Mängd i % av cementhalten	
Flyttillsattemedel	Glenium 51			
Uppmätt konsektens	Uppmätt lufthalt		VCT / VBT 0,7	Max stenstorlek (mm) 16

Märkning	Avflagning (kg/m ²) efter X dygn				
	7	14	28	42	56
1	0,26	2,88	6,51	8,13	10,75
2	0,20	2,15	4,09	6,03	7,97
3	0,22	2,59	4,96	7,34	9,71
4	0,16	2,03	3,90	5,76	7,63

Resultat		0,21	2,41	4,61	6,82	9,02	
Bedömning	Tillverkningsförfarande	Provningemetod		Notering:			
Inte acceptabel	1	A					
Betongens frostbeständighet är bedömd enligt tabell i kommentar till SS137244.							
SS 137121	SS 137124		Max stenstorlek		Ort och datum Farsta 2002-10-23		
Märkning	Resultat	Märkning	Resultat	(mm)			
				16			
SS 137244 Frostprovning							
<p>Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommet prov. Mätosäkerhetsberäkning finns och kan fås på begäran. (E) = Enkelprov</p>							

Skanska Sverige AB
Vägtekniskt Centrum Nord, Farsta
Box 49
123 21 Farsta

Besöksadress
Frykdalsb. Larsboda
Styrelsens säte

Telefon
08-883 43 80
Telefax
08-805 94 73

Org.nummer
558033-9088
VAT-nummer

Postgiro
Bankgiro

SKANSKA

1620:01

INTE ACCEPTABEL Betong Sidan 1 av 1

Beställare: Examensarbete, Maria Olsson, Johan Sjödin KTH STOCKHOLM Produkt:	Provlagn.datum: 2002-07-23 Ankomstdatum: 2002-07-23 Beställarens ref.nr:	Analys - start: 2002-08-13 Analys - slut: 2002-10-17	Provnr: 200200078 Idnummer: Krämp vct 0.7
Leverantör:	Provlagningsplats: Betongfabbet	Provlagare:	
Entreprenör: Skanska Sverige AB	Märkning:		
Objekt: Examensarbete			

SS 13 72 44 BETONGPROVNING - HÄRDNAD BETONG - AVFLAGNING VID FRYSNING (KUB)

Betongfabrikat	Fabriksbetong			
Cementtyp	Cementfabrikat		Cementhalt (kg/m ³)	
Byggcement	Cementa			
Tillsatsmedel	Fabrikat		Mängd i % av cementhalten	
Flyttillsatsmedel	Glenium 51			
Uppmätt konsistens	Uppmätt lufthalt	VCT / VBT	Max stenstorlek (mm)	
		0,7	18	

Märkning	Avflagning (kg/m ²) efter X dygn				
	7	14	28	42	56
1	0,00	0,03	0,14	0,30	0,31
2	0,00	0,03	0,21	0,64	3,32
3	0,00	0,02	0,03	0,04	0,04
4	0,00	0,02	0,11	0,24	0,33

Resultat		0,00	0,02	0,12	0,31	1,00				
Bedömning	Tillverkningsförfarande	Provningemetod		Notering:						
Inte acceptabel	1	A		Ort och datum Farsta 2002-10-23						
Betongens frostbeständighet är bedömd enligt tabell i kommentar till SS137244.										
SS 137121	SS 137124		Max stenstorlek (mm)							
Märkning	Resultat	Märkning	Resultat					18		
SS 137244 Frostprovning										
Provrésultatet svarar endast till laboratoriet inkommet prov. Mätosäkerhetsberäkning finns och kan fås på begäran. (E) = Enkelprov										

Skanska Sverige AB
Vägtekniskt Centrum Nord, Farsta
Box 49
123 21 Farsta

Besöksadress
Frykdalsb. Larsboda
Styrelsens säte

Telefon
08-683 43 60
Telefax
08-608 94 73

Org.nummer
556933-9088
VAT-nummer

Postgiro
Bankgiro

SKANSKA

1620:01

GOD Betong Sidan 1 av 1

Beställare : Examensarbete, Maria Olsson, Johan Sjödin KTH STOCKHOLM Produkt :	Provtagn.datum : 2002-07-23 Ankomstdatum : 2002-07-23 Beställarens ref.nr :	Analys - start : 2002-08-13 Analys - slut : 2002-10-17	Provrnr : 200200078 Idnummer : V.imp vct 0.7
Leverantör :	Provtagningsplats : Betonglabbet	Provtagare :	
Entreprenör : Skanska Sverige AB Objekt : Examensarbete	Märkning :		

SS 13 72 44 BETONGPROVNING - HÅRDNAD BETONG - AVFLAGNING VID FRYSNING (KUB)

Betongfabrikat	Fabriksbetong		
Cementtyp	Cementfabrikat	Cementhalt (kg/m ³)	
Byggcement	Cementa		
Tillsatsmedel	Fabrikat	Mängd i % av cementhalten	
Flyttillsatsmedel	Glenium 51		
Uppmätt konsistens	Uppmätt lufthalt	VCT / VBT 0,7	Max stenstorlek (mm) 16

Märkning	Avflagning (kg/m ²) efter X dygn				
	7	14	28	42	56
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,02	0,11	0,12	0,12
3	0,00	0,04	0,17	0,18	0,18
4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Resultat		0,01	0,02	0,10	0,10	0,10			
Bedömning	Tillverkningsförfarande	Provningmetod		Notering :					
God	1	A		Ort och datum Farsta 2002-10-23					
Betongens frostbeständighet är bedömd enligt tabell 1 kommentar till SS137244.									
SS 137121	SS 137124	Max stenstorlek (mm)							
Märkning	Resultat	Märkning	Resultat						
				16					
SS 137244 Frostprovning									
Provsresultatet svarar endast till laboratoriet inkommet prov. Mätosäkerhetsberäkning finns och kan fås på begäran. (E) = Enkelprov									

Skanska Sverige AB
Vägtekniskt Centrum Nord, Farsta
Box 49
123 21 Farsta

Besöksadress
Frykdalsb. Larsboda
Styrelsens säte

Telefon
08-683 43 60
Telefax
08-606 94 73

Org.nummer
556033-0086
VAT-nummer

Postgiro
Bankgiro