

Uttorkning av betong med lågt vct Inverkan av härdnings sätt

Sammanfattning

Vid mätningar i fält på betong med lågt vct har det konstaterats att man har fått stora skillnader i uttorkningstid. Betong har ibland erfordrat dubbelt så lång uttorkningstid som normalt trots att man har haft identiska uttorkningsklimat efter det att huset har blivit tätt och värme tillförts. Hypotesen, vilken avsikten var att undersöka i detta projekt, var att detta beror på det tidiga härdningsförloppet för betongen. Undersökningen utfördes på provkroppar gjutna i slutna behållare där olika härdningstemperaturer i det tidiga skedet simulerades. De slutna kärlen användes för att betongens förmåga att ta hand om vatten genom kemisk uppbindning skulle kunna undersökas.

Provkropparna delades in i tre provserier. Alla tre provserierna utfördes både som varm- och fryslagrade. Två serier utfördes både med och utan tillsatsmedel medan en serie utfördes enbart med tillsatsmedel. De varmlagrade proverna förvarades i rumstemperatur i laboratorielokal medan de fryslagrade frystes ner under 28 dygn för att sedan förvaras i rumstemperatur ihop med de övriga proverna. Tre olika cementtyper användes till provkropparna; byggcement, SH-cement och Embracement.

Fuktmätning utfördes genom att mäta relativ fuktighet, RF, i borrhål med hjälp av kvarsittande givare av fabrikatet Humi-Guard. Det visade sig under projektet att 14 givare av totalt 64 stycken var defekta. Enligt tillverkaren av givarna berodde det på problem i tillverkningen samt givarförpackningen vilket nu justeras.

Slutsatsen från RF-mätningarna är att det är stor spridning av RF (upp till 6,1 %) trots samma vct på grund av de olika cementsorternas olika specifika yta och klinkerinnehåll. Skillnad mellan hög och låg cementhalt erhöles bara för SH-cement där man i de flesta fall kunde se klart lägre värden när cementhalten var högre. Generellt kan man se att lägsta värdena på RF erhålls hos SH-cement och de högsta hos Embracement. De prover som hade lägst värde var kalllagrade prover med hög halt SH-cement. Blandningarna med silika hade förväntats komma få ett slutvärde någon procent lägre än blandningar utan

men i våra försök blev det ingen skillnad i RF med eller utan silika.

Resultatet från detta projekt påvisar behovet av nya undersökningar inom två områden. Det ena området är den begränsade kemiska uppbindningen i betongen trots låga vct och inblandning med silika. Det andra området är de i detta projekt konstaterade bristerna hos givarna både avseende skillnaden mellan olika givare och avseende den stora driften hos en del givare.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Förord	4
Inledning	5
Bakgrund	5
Syfte	6
Metoder och material	6
Uppställning provkroppar	7
Handhavande av provkroppar	8
Beskrivning av genomförandet	9
Mätningssystem	10
Fuktmätning i provkroppar	10
Rumsklimat	11
Mätosäkerhet	12
Resultat	13
Fuktmätning i provkroppar	13
Serie 1	13
Serie 2	15
Serie 3	17
Slutvärden hos proverna	18
Jämförelse mellan frys- och varmlagrade prover	20
Jämförelse mellan låg och hög cementhalt	21
Jämförelse mellan med och utan tillsatsmedel	23
Jämförelse med betong med vct 0,65	24
Jämförelse för byggcement med beräkning i TorkaS	25
Mätning av temperatur och mognadsålder	26
Mätning av rumsklimat	31
Defekta givare	32
Efterkontroll av givare	33
Diskussion och slutsatser	33
Fortsatta undersökningar	35
Bilaga1 Betongrecept	

Förord

Projektet utfördes med bidrag från SBUF och Cementa och projektgruppen bestod av projektledare Bengt Ström, NCC Teknik, tillsammans med en arbetsgrupp och en referensgrupp.

Arbetsgrupp bestod av följande personer:

- Arne Retelius Cementa
- Björn Schoug Ballast
- Ted Rapp Sveriges Byggindustrier/RBK

Styrgrupp/ Referensgrupp bestod av:

- Lars-Olof Nilsson LTH.
- Göran Hedenblad Boverket.
- Nicklas Johansson LTH/Cementa

För sammanställning och rapportskrivning svarade Fredrik Gränne, NCC Teknik.

Inledning

Vid fuktmätningar utförda enligt RBK:s rekommendationer i betong med lågt vattenbindemedelstal, vbt, har det visat sig att uttorkningen i flera fall gått mycket långsammare än beräknat, t.ex. med beräkningsverktyget TorkaS. Längre uttorkningstid än beräknat leder till högre risk för inestängd fukt i bjälklagen, dvs. att tätskikt läggs på för tidigt, eftersom planerad tid till förfogande för uttorkning inte räcker till. Detta leder som bekant till problem med nedbrytning av mattlim mm.

Avsikten var att utföra tester på provkroppar gjutna i slutna behållare där endast betongens förmåga att ta hand om vatten genom kemisk uppbindning undersöktes. Detta utfördes genom att simulera olika härdningstemperaturer i det tidiga skedet.

Täckning i tidigt skede tror vi skapar bra förutsättningar för snabb kemisk uppbindning av vatten i betongen medan vi samtidigt tror att hastig nedkylning av betongen i tidigt skede ger förändringar i cementgelens täthet.

Bakgrund

Entreprenörerna har idag höga krav på sig att bygga friska hus. Kvarvarande byggfukt i betong är ett stort problem att hantera. För arbetsplatserna gäller det oftast att välja rätt betong, ofta med lågt vct, och att på bygget sköta den tidiga hanteringen på ett optimalt sätt. Detta kan i synnerhet vara ett stort problem under den kalla årstiden när det finns risk att betongen kan bli nedkyld.

Ibland dröjer man att täcka betongen i tidigt skede på grund av risken att skada överytan. Täckningen kommer ofta på först efter 8 timmar och i värsta fall kan det dröja till dagen efter. Det händer också att man kombinerar dålig eller ingen täckning med uppvärmning under bjälklaget eller alternativt värmer betongen med ingjutna elkablar vilken är en energikrävande teknik.

Vid mätningar i fält på betong med lågt vct har det konstaterats att man har fått stora skillnader i uttorkningstid. Betong som normalt borde ha torkat ut på 100 dygn till 85 % RF har ibland erfordrat dubbelt så lång uttorkningstid trots att man har haft identiska uttorkningsklimat efter det att huset har blivit tätt och värme tillförts. Hypotesen, som avsikten är att undersöka i detta projekt, är att detta beror på det tidiga härdningsförloppet för betongen. Detta kan också vara en tänkbar anledning till att de prognostiserade torktiderna i TorkaS ibland ger stor avvikelse jämfört med mätresultaten.

Programmet TorkaS tar inte hänsyn till arbetsplatsens åtgärder för betongens tidiga härdning utan tar bara hänsyn till statistisk medeltemperatur och RF i luft för aktuell ort för årstiden. Åtgärder som täckning eller tillförd värme i betongen under de första dyggen, går att simulera i datorprogrammet Hett97 för att få fram betongens temperaturutveckling. Temperaturutvecklingen används som indata avseende klimatdata vid beräkningen i TorkaS.

Vid användning av betong med lågt vct väljs vct med hänsyn till den kritiska RF som skall uppnås. Det har visat sig att de rekommendationer som finns avseende val av vct

verkar ge en för positiv bild av hur långt ner i RF betongen torkar. Väljs vct enligt dessa riktlinjer finns risk för att uttorkningen tar avsevärt längre tid än prognostiserat när den kemiska uppbindningen avklingat.

Syfte

Att skaffa oss kunskap om vilken betydelse betongens tidiga härdning har för den totala uttorkningshastigheten.

Det vi vill undersöka är om en snabb tidig härdning med utnyttjande av cementets värmeutveckling gör att cementets förmåga att kemiskt binda vattnet blir större och snabbare än om betongen får svalna och sedan värms upp i efterhand till samma hållfasthetsnivå. Vi misstänker att cementens förmåga att binda vatten kemiskt försämras när härdningen går långsamt. Detta kan vara en förklaring till att uttorkningstiderna ibland har fördubblats.

Detta kommer att göras genom att slutlig RF som uppnås jämförs med förväntad RF beroende på val av vct och rådande klimat i tidigt skede.

Metoder och material

Projektet, som är en förstudie, har till en början utförts vid Ballast fabrik i Billeberga. För att uppnå en bättre temperaturstabilitet vid slutmätningar flyttades proverna till NCC Roads laboratoriums klimatrum i Upplands Väsby.



Figur 1 Ballast fabrik i Billeberga

Avsikten var att utföra tester på provkroppar gjutna i slutna behållare där endast betongens förmåga att ta hand om vatten genom kemisk uppbindning undersöktes. Detta utfördes genom att simulera olika härdningstemperaturer i det tidiga skedet.

Täckning i tidigt skede tror vi skapar bra förutsättningar för snabb kemisk uppbindning

av vatten i betongen medan vi samtidigt tror att hastig nedkylning av betongen i tidigt skede ger förändringar i cementgelens täthet vilket borde försämra betongens möjligheter till en snabb RF-sänkning.

För att utvärdera med vilken hastighet de olika provkropparna binder upp vatten har en kontinuerlig mätning av betongens mognadsålder skett. Därigenom kan vi se om det finns ett samband mellan mognadsålder och uttorkning beroende av hur snabbt betongen härdat i det tidiga skedet. Samtidigt vill vi undersöka cementhaltens och cementsortens betydelse vid olika härdningstemperaturer.

Om resultatet är stora skillnader i RF, vid avläsning vid samma mognadsålder, för provkroppar som utsatts för olika härdningssätt skulle en större utredning behöva göras i ett fortsatt projekt.

Uppställning provkroppar

Provkropparna delades in i tre provserier. Alla tre provserierna utfördes både som varm- och kallgrade. Serie 1 och 2 utfördes både utan och med tillsatsmedel medan serie 3 utfördes enbart med tillsatsmedel. De varmlagrade proverna förvarades i rumstemperatur i laboratorielokal medan de kallgrade frystes ner under 28 dygn (efter att först ha erhållit ca 5 MPa) för att sedan förvaras i rumstemperatur ihop med de övriga proverna. Tre olika cementtyper användes till provkropparna. Dels vanlig Byggcement (CEM II/A-LL 42,5 R), dels SH-cement (CEM I 52,5 R) och Embracement (CEM I 52,5 N)

		Serie 1. vct 0,38 Vattenhalt 160 liter Cementhalt 421 kg Byggcem SH Embra			Serie 2. vct 0,38 Vattenhalt 200 liter Cementhalt 526 kg Byggcem SH Embra		
Utan tillsatsmedel	Varmlagrade	1.1 v	1.2 v	1.3 v	2.1 v	2.2 v	2.3 v
	Kallgrade	1.1 k	1.2 k	1.3 k	2.1 k	2.2 k	2.3 k
Med tillsatsmedel *	Varmlagrade	1.1 vt	1.2 vt	1.3 vt	2.1 vt	2.2 vt	2.3 vt
	Kallgrade	1.1 kt	1.2 kt	1.3 kt	2.1 kt	2.2 kt	2.3 kt
		Serie 3. Cementhalt 421 kg Som ovan + 5% silika Byggcem SH Embra			Cementhalt 526 kg Som ovan + 5% silika Byggcem SH Embra		
Med tillsatsmedel	Varmlagrade	3.1 vt	3.2 vt	3.3 vt	3.4 vt	3.5 vt	3.6 vt
	Kallgrade	3.1 kt	3.2 kt	3.3 kt	3.4 kt	3.5 kt	3.6 kt

Teckenförklaring

Röd färg Lagrade varmt i laboratorielokal i Billeberga

Blå färg Lagrade kallt efter att ha uppnått ca: 5 mpa

* vattenhalt inkl flyt -torrhalt

En mer detaljerad beskrivning av betongrecepten återfinns i Bilaga 1.

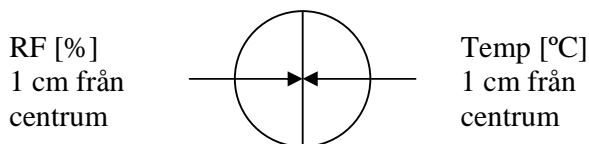
Handhavande av provkroppar

1. För att få så korrekt vct som möjligt vid blandning så kontrollerades ballastens fukthalt före blandningen genom att ballasten homogeniserades i en separat blandare där prov av ballasten togs ut och vägdes/torkades/vägdes omedelbart före blandning i blandare nummer 2. Detta för att kunna justera vattenmängden. För ytterligare noggrannhet så vägdes cementen på en våg med liten mätosäkerhet (± 2 g). Blandningen skedde därefter i en tvångsblandare med en blandningstid på 5 minuter per sats.
2. De prover som frystes ned till under -15 °C hade uppnått en hållfasthet av minst 5 MPa innan temperaturen gick under $+5$ °C. Denna tidpunkt inträffar vid 14 h om man lägger ner dessa i frysboxen 5-6 timmar efter blandning beroende på cement-sort och cementhalt med och utan tillsatsmedel. För att öka kylkapaciteten hade frysboxen fyllts med betongkroppar med en vikt som översteg provkropparnas samlade vikt. Provkropparna lagrades i 4 veckor i frysboxen.



Figur 2 Provkropparna i frysboxen

3. Fuktmätning skedde när betongen hade nått en mognadsålder motsvarande ca: 680h och vid ca: 2000h. Mätning av fukt skedde 1 cm från centrum på burken på samtliga prover. Borrning utfördes horisontellt in i burkens sida i centrum av tvärsnittshöjden. Mätning gjordes med HumiGuard.





Figur 3 Borrning i burkarna

4. Loggning av mognadsålder utfördes med termoelement som fixerades på en punkt 1 cm från centrum och mitt för fuktmätningpunkten.
5. Anslutning av temperaturgivare utfördes genom burken med en fast förskruvning som klarar 5 m vattenpelare.

Beskrivning av genomförandet

- | | |
|-------------|--|
| 12 februari | göts första serien |
| 27 februari | monterades givare på varmlagrade provserie 1. Avläsning efter 3 dygn sedan med ca 3 dygns mellanrum till 680 mognadstimmar |
| 11 mars | upptagning serie 1 frysta prover. |
| 16 mars | gjutning serie 2 |
| 30 mars | montering av givare på fryslagrad serie 1 och varmlagrade prov serie 2
Avläsning på samma sätt som serie 1.(första avläsning utfördes vid 700 mognadstimmar avseende fryst serie 1 och varmlagrad 2 hittar jag inga uppgifter på) |
| 14 april | upptagning serie 2 frysta prover. |
| 22 april | gjutning serie 3. |
| 12 maj | upptagning serie 3 fryslagrade och montage av givare på fryslagrad serie 2. |
| 13 maj | montering givare varmlagrade serie 3. Första avläsning vid full mognadsålder. |
| 19 maj | montering givare fryslagrade serie 3. |
| 9 juli | utfördes sista avläsningen av RF i Billeberga. |
| i juli | transporterades burkarna till Upplands Väsby. |
| 23 augusti | utfördes slutlig avläsning av RF. Därefter utfördes efterkontroll på samtliga givare samt fyra kompletterande mätningar utförda av Staffan Carlström. |

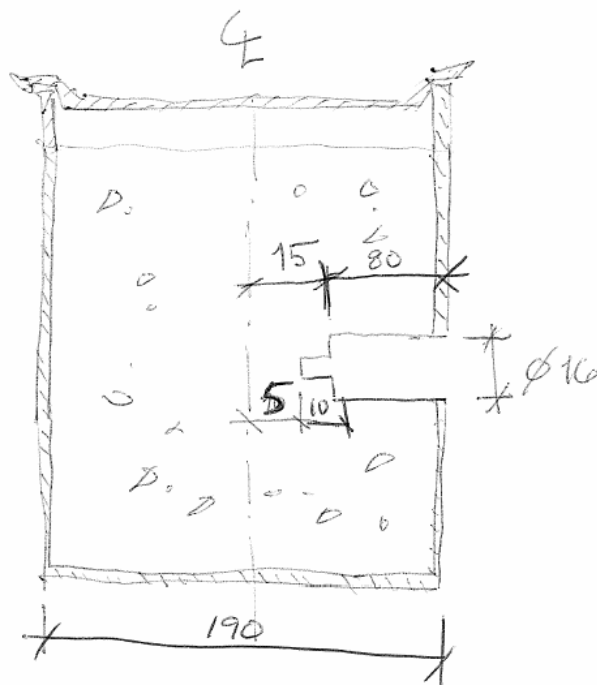
Mätningförfarande

Fuktmätning i provkroppar

Fuktmätning har utförts genom att mäta relativ fuktighet, RF, i borrhål med hjälp av kvarsittande givare av fabrikatet Humi-Guard. Mätning har utförts i 43 stycken tillslutna plåtburkar fyllda med betong. En givare har monterats i varje burk och avläsning har utförts momentant, avseende betongens RF och temperatur, genom att ansluta ett avläsningsinstrument till givarna vid avläsningstillfället. Temperaturen i lokalen där mätningarna utförts har loggats under mätningen och även betongprovernas temperatur har loggats i början av projektet för kontroll av mognadsgrad.

RF-mätning är i princip utförd enligt rutinerna i "Manual fuktmätning i betong" version 3, se www.rbk.nu.

Ett hål, med diametern 16 mm, borrades genom plåtburkens sida in mot betongkärnans centrum. Vid borrning monterades burken i en borrhög med avsikt att i möjligaste mån erhålla identiska borrhål i samtliga burkar. För att öka den fuktavgivande ytan har en kompletterande borrning utförts mot provkroppens centrumlinje, diameter 8 mm, enligt figur.

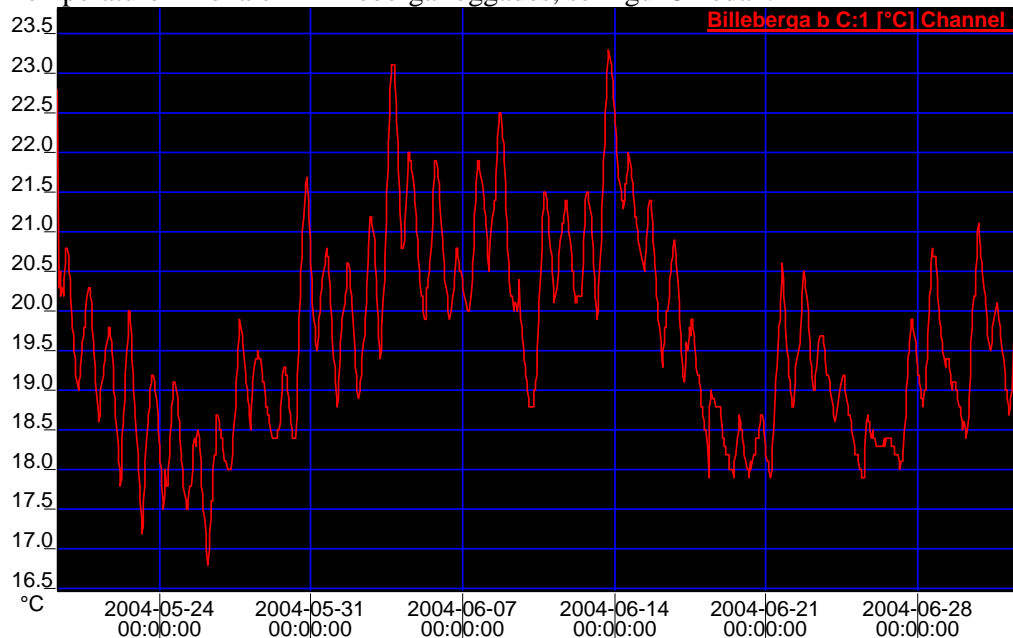


Figur 4 Borrhål för montage av mätrör och RF-givare

Efter borrning har borrhög i hålet avlägsnats med tryckluft varefter ett mätrör monterats. En kontroll av att mätröret tätade mot betongen utfördes innan givaren monterades i mätröret. Slutligen utfördes en provavläsning för att säkerställa ett RF- och temperaturgivaren fungerade.

Rumsklimat

Mätningarna påbörjades på Ballasts betongstation i Billeberga i en utbildningslokal. Trots att fönstren täcktes för var det svårt att klara temperaturkravet, $\pm 2^\circ\text{C}$, i omgivande luft. Temperaturen i lokalen i Billeberga loggades, se Figur 5 nedan.



Figur 5 Lufttemperaturen i lokalen i Billeberga

Av denna anledning flyttades burkarna till ett klimatrum, på NCC:s laboratorium i Upplands Väsby, under juli 2004. Där utfördes de slutliga avläsningarna under augusti månad. Temperaturvariationen i lokalen understeg $\pm 1^\circ\text{C}$. Målsättningen har varit att mätning ska utföras vid 20°C och de RF-värden som redovisas är RF vid aktuell temperatur utan mätosäkerhet.



Figur 6 Lokalen i Billeberga



Figur 7 Klimatrummet i Upplands Väsby

Mätosäkerhet

Mätosäkerheten avseende RF avläst i Upplands Väsby är $\pm 2,0 \%$.

Mätosäkerheten avseende RF bestämd vid efterkontrollen är $\pm 1,7 \%$.

Vid beräkning av mätosäkerhet förutsätts avvikelse i mätdjup och plattjocklek inte påverka resultatet. Anledningen är att uttorkning endast sker genom kemisk uppbindning i den slutna burken vilken antas vara lika inom provkroppen.

Ovanstående innebär att avvikelse mellan avläst värde 2004-08-20 och det som redovisas från efterkontrollen maximalt ska vara 3,7%RF (2,0 + 1,7). Maximal avvikelse är 3,3%RF vilket redovisas för mätpunkt 3.3kyl. Således ligger mätosäkerheten inom systemets gränser avseende de givare som godkänts vid efterkontrollen.

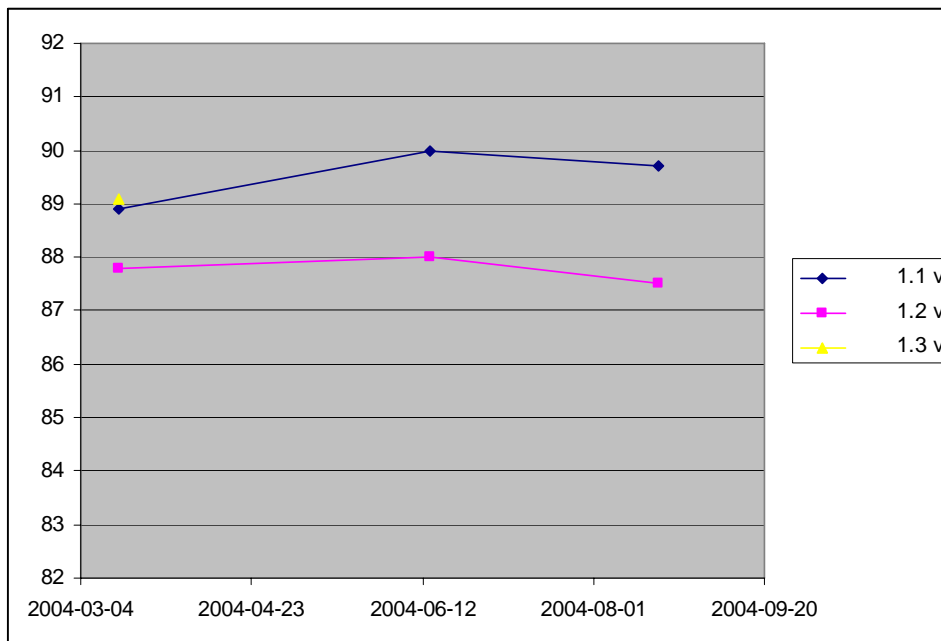
Resultat

Fuktmätning i provkroppar

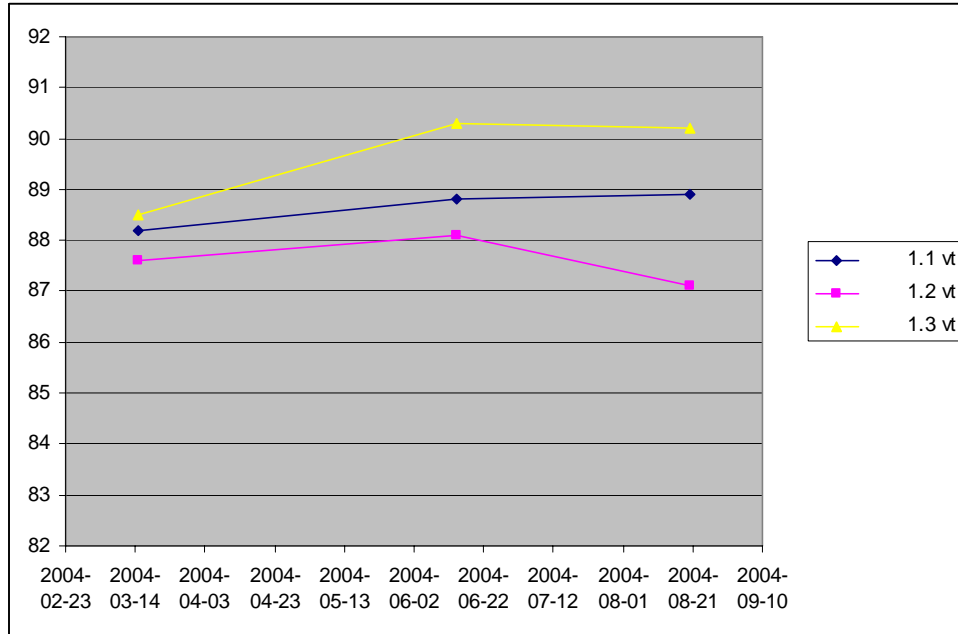


Figur 8 Mätning i provkroppar

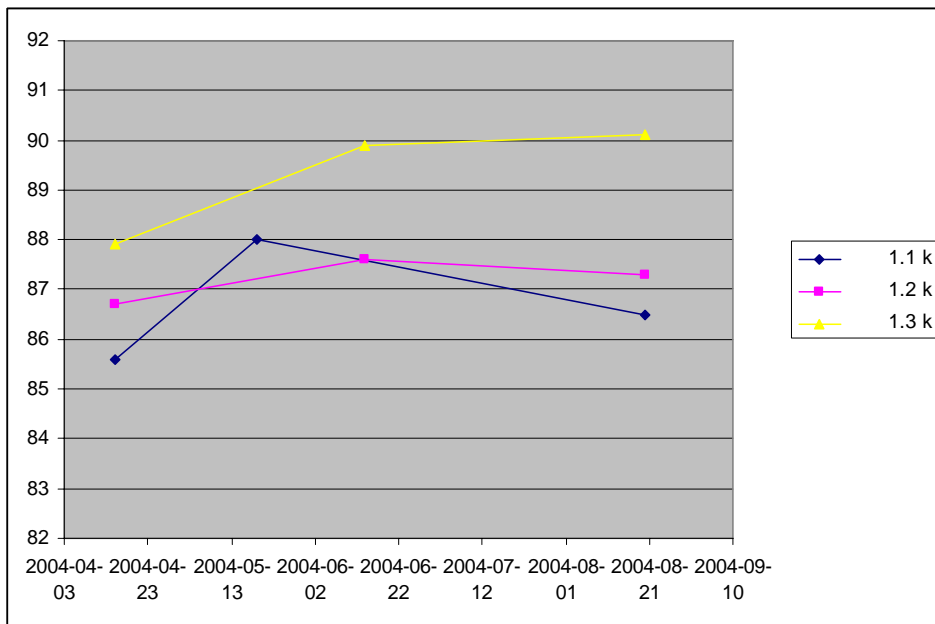
Serie 1



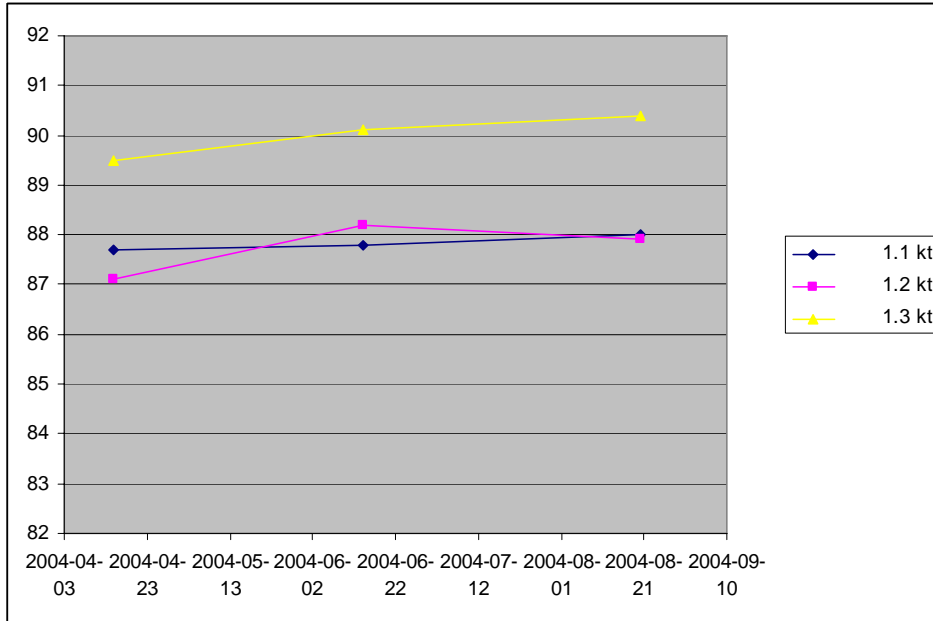
Figur 9 Serie 1 varmlagrade utan tillsatsmedel



Figur 10 Serie 1 varmlagrade med tillsatsmedel

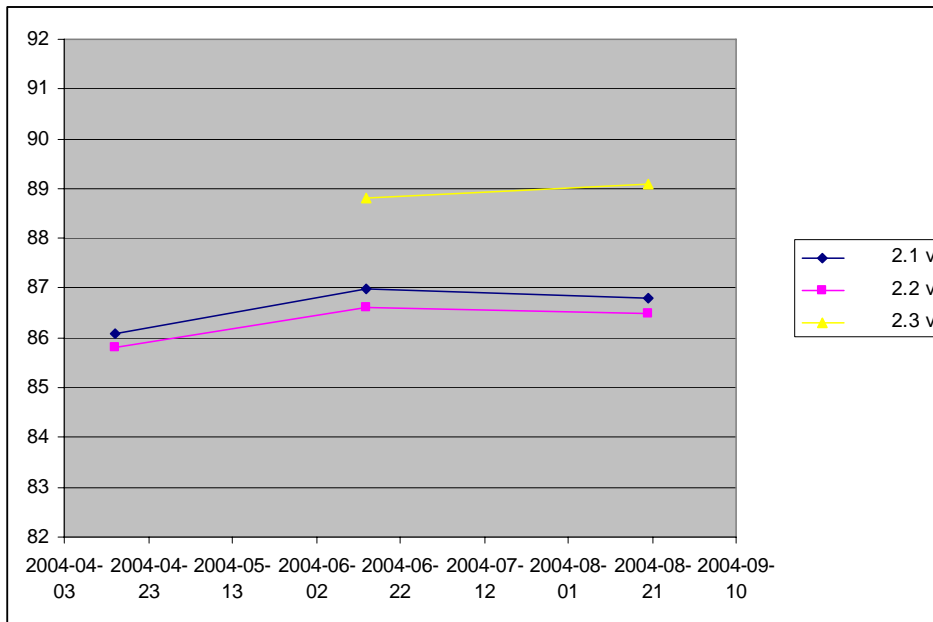


Figur 11 Serie 1 fryslagrade prover utan tillsatsmedel

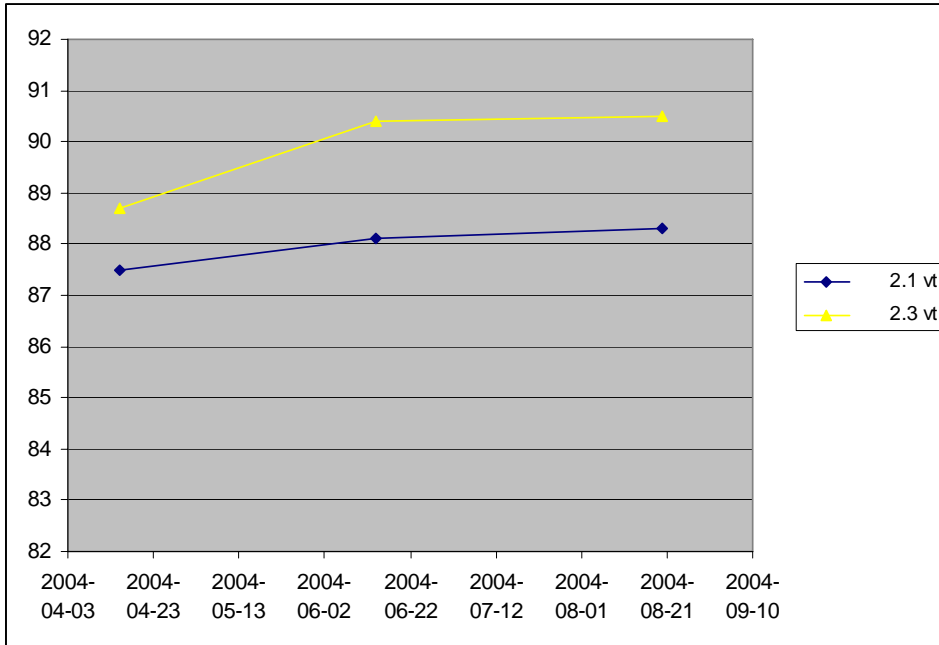


Figur 12 Serie 1 fryslagrade prover med tillsatsmedel

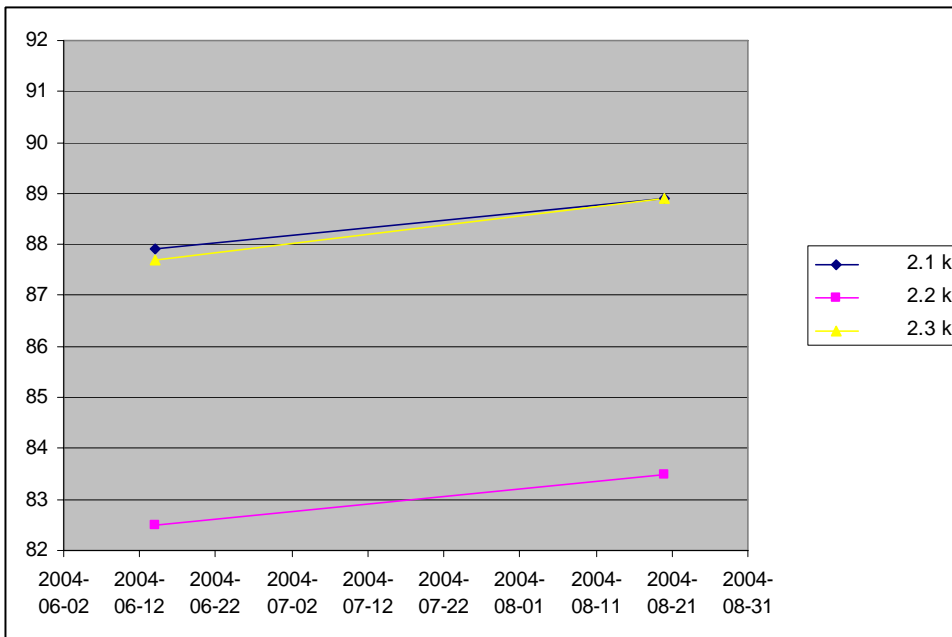
Serie 2



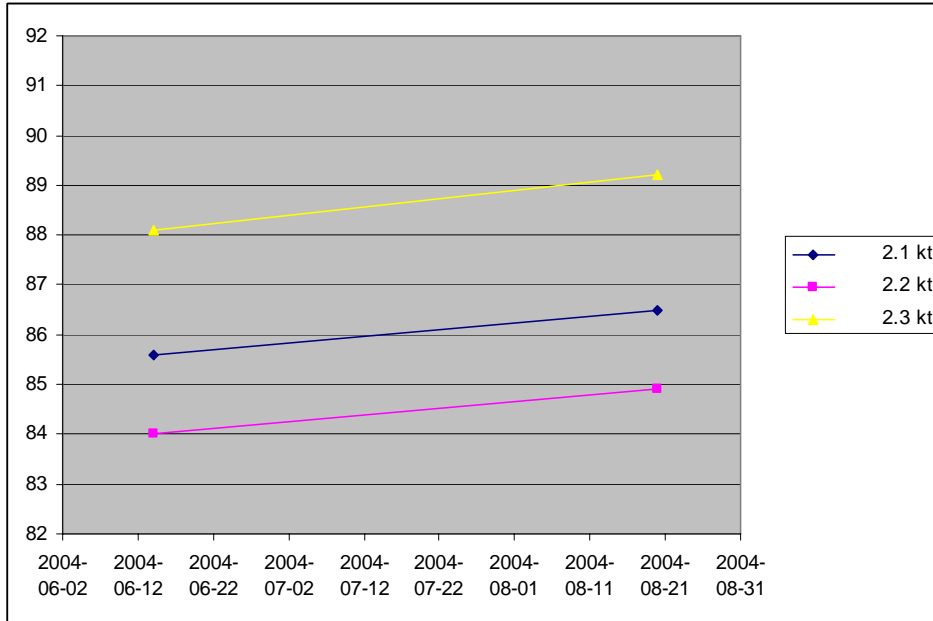
Figur 13 Serie 2 varmlagrade utan tillsatsmedel



Figur 14 Serie 2 varmlagrade med tillsatsmedel

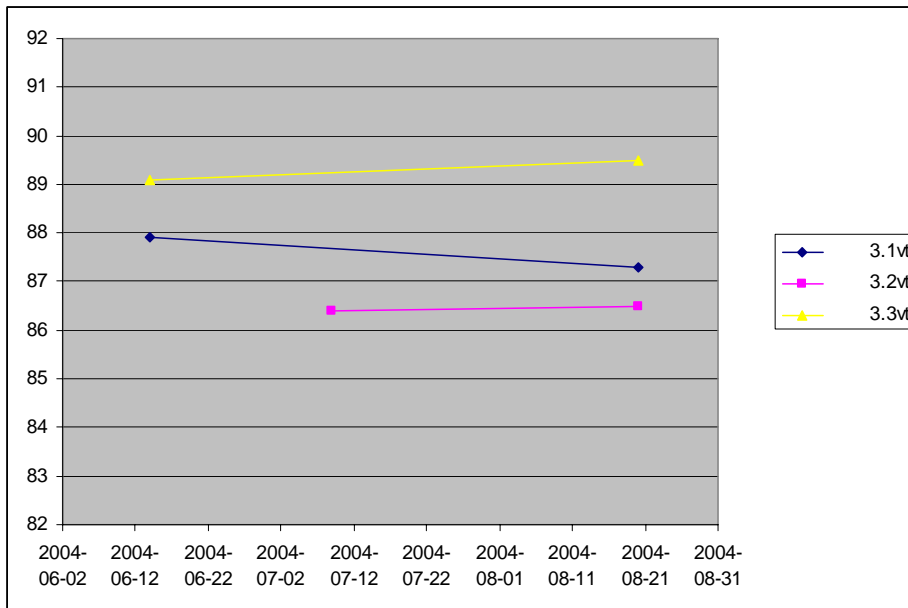


Figur 15 Serie 2 fryslagrade prover utan tillsatsmedel

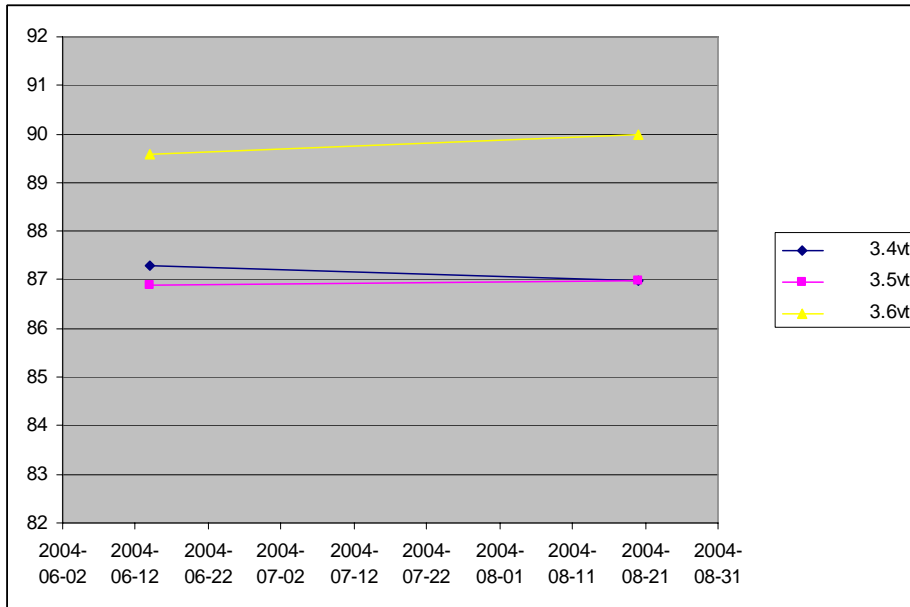


Figur 16 Serie 2 frysgrade prover med tillsatsmedel

Serie 3



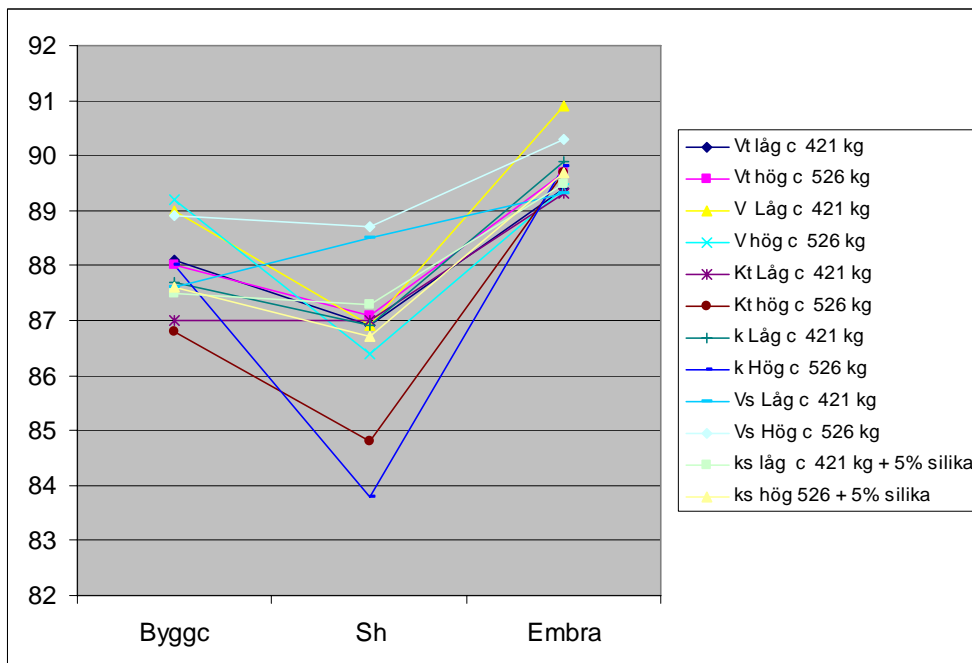
Figur 17 Serie 3 låg cementhalt varmlagrade med tillsatsmedel



Figur 18 Serie 3 hög cementhalt varmlagrade med tillsatsmedel

Slutvärden hos proverna

Mätvärdena från efterkontrollen av alla givare har nedan sammanställts för alla prover. Alla värden som redovisas i detta kapitel är från efterkontrollen av alla givare och redovisas utan temperaturkorrigering.



Figur 19 Sammanställning av alla prover vid efterkontroll av givare

Tabell 1 RF vid efterkontroll av givare

	Byggc	SH	Embra
Vt låg, c = 421 kg	88,1	86,9	89,4
Vt hög, c = 526 kg	88	87,1	89,7
V låg, c = 421 kg	89	86,9	90,9
V hög, c = 526 kg	89,2	86,4	89,4
Kt låg, c = 421 kg	87	87	89,3
Kt hög, c = 526 kg	86,8	84,8	89,7
k låg, c = 421 kg	87,7	86,9	89,9
k hög, c = 526 kg	88	83,8	89,8
ks låg, c= 421 kg + 5% silika	87,5	87,3	89,5
ks hög, c = 526 + 5% silika	87,6	86,7	89,7

Teckenförklaring:

K = fryst, kallare än -15 °C i 28 dygn

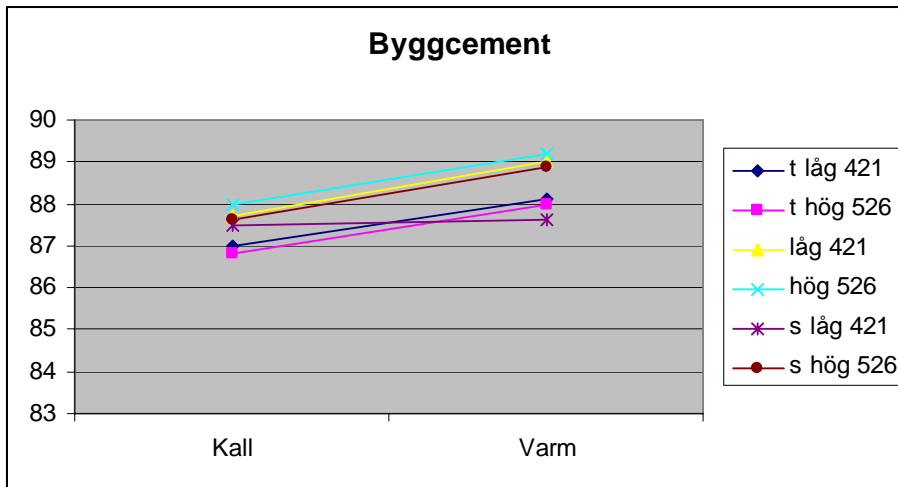
V = Varmlagrad, ca + 20 °C

t = tillsatsmedel

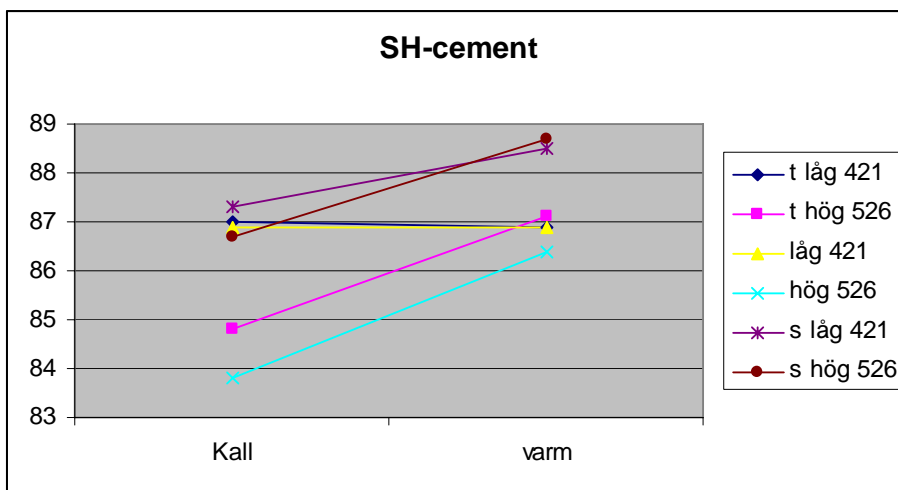
s = 5% silika

Avlästa värden,
ej temperatur-
korrigerade

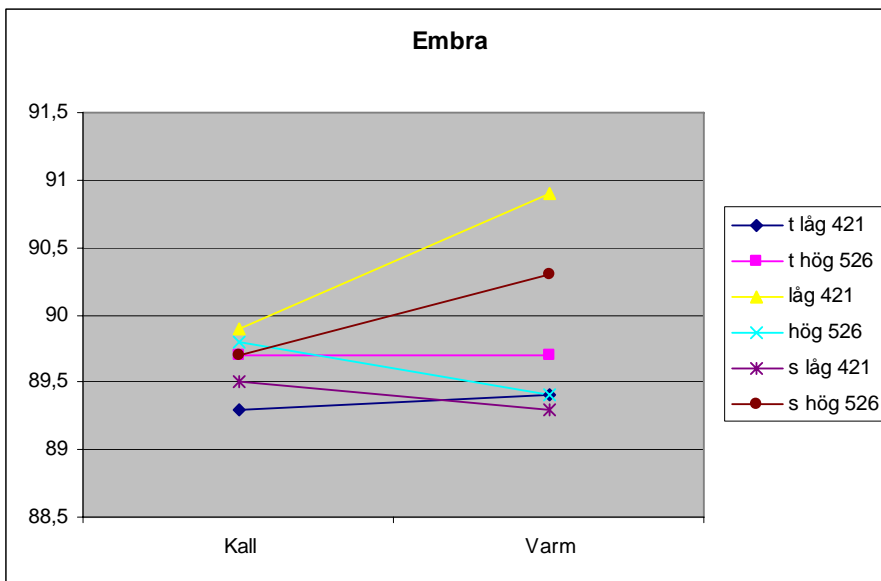
Jämförelse mellan frys- och varmlagrade prover



Figur 20 Jämförelse mellan frys- och varmlagrade prover innehållande byggcement

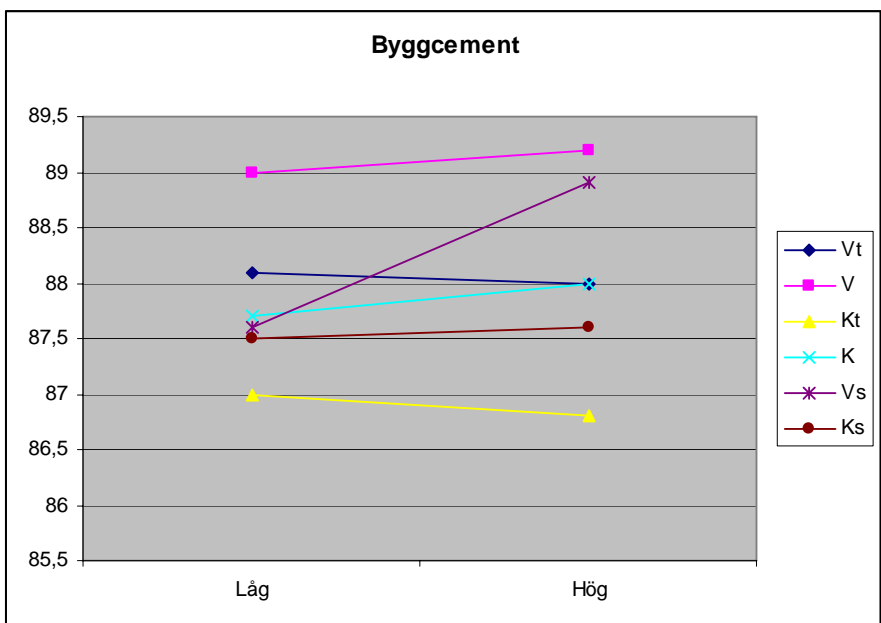


Figur 21 Jämförelse mellan frys- och varmlagrade prover innehållande SH-cement

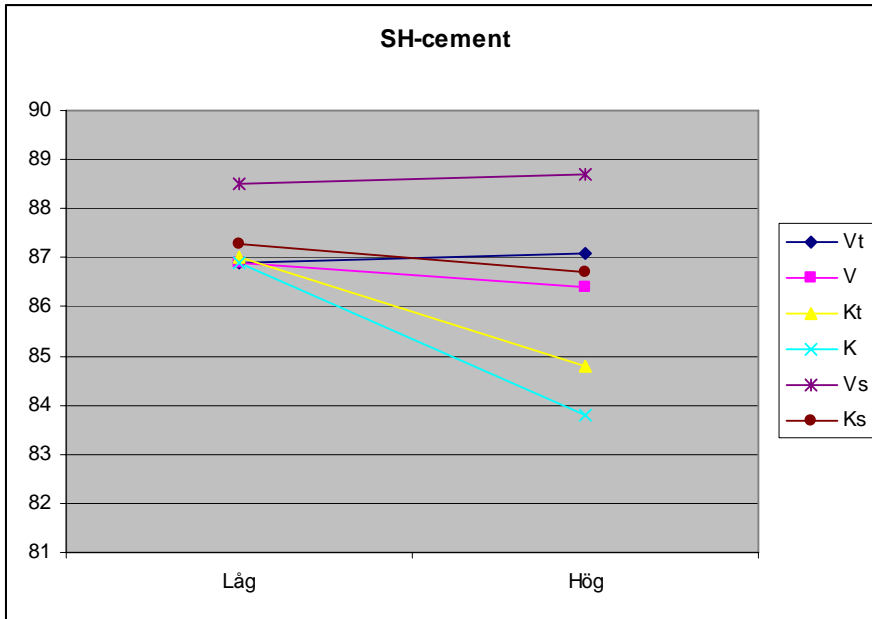


Figur 22 Jämförelse mellan frys- och varmlagrade prover innehållande Embracement

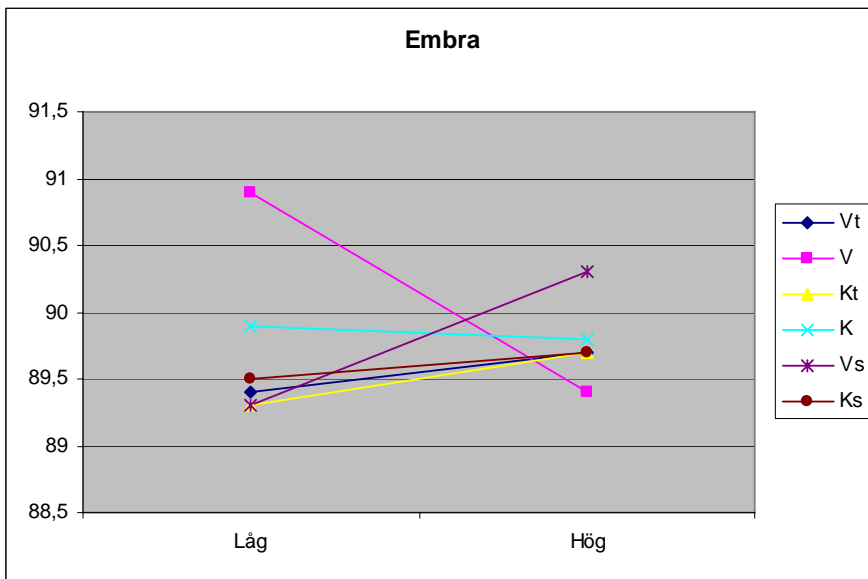
Jämförelse mellan låg och hög cementhalt



Figur 23 Jämförelse mellan låg och hög cementhalt i prover med Byggcement

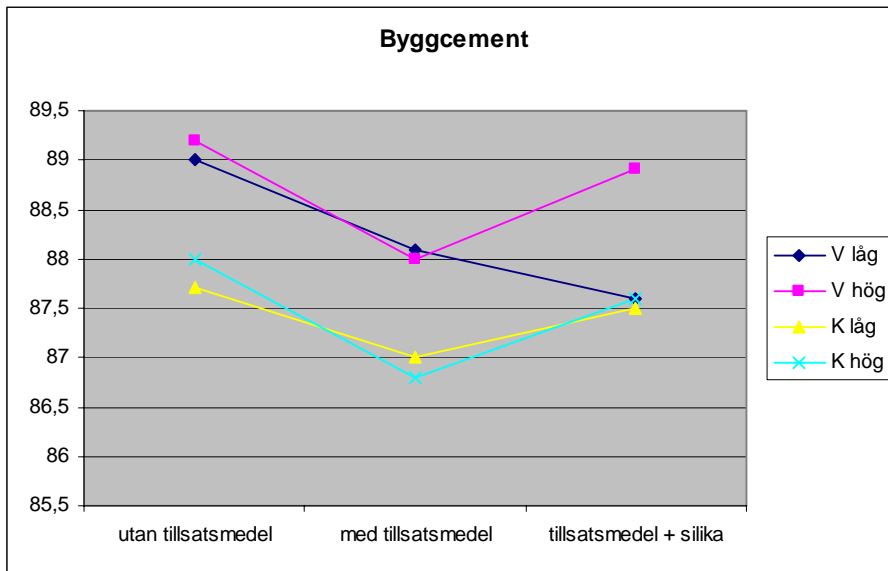


Figur 24 Jämförelse mellan låg och hög cementhalt i prover med SH-cement

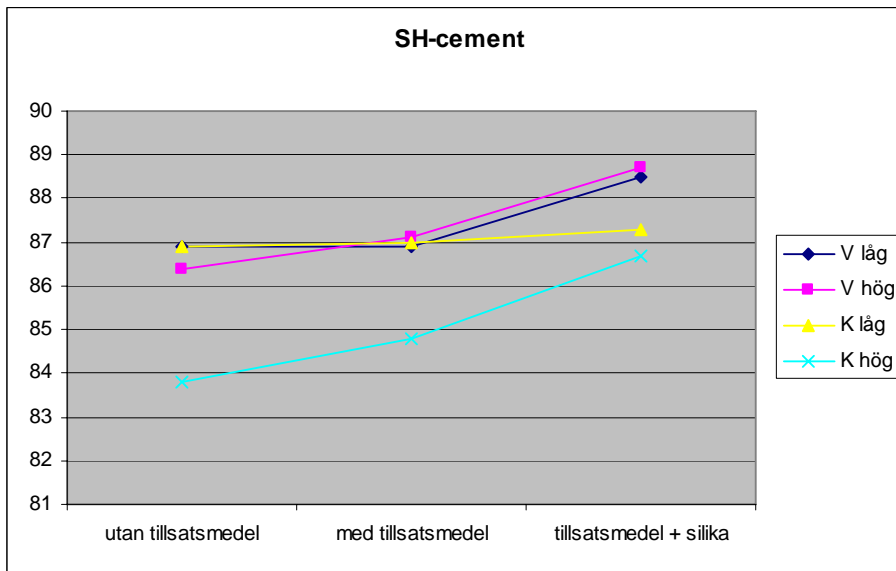


Figur 25 Jämförelse mellan låg och hög cementhalt i prover med Embracement

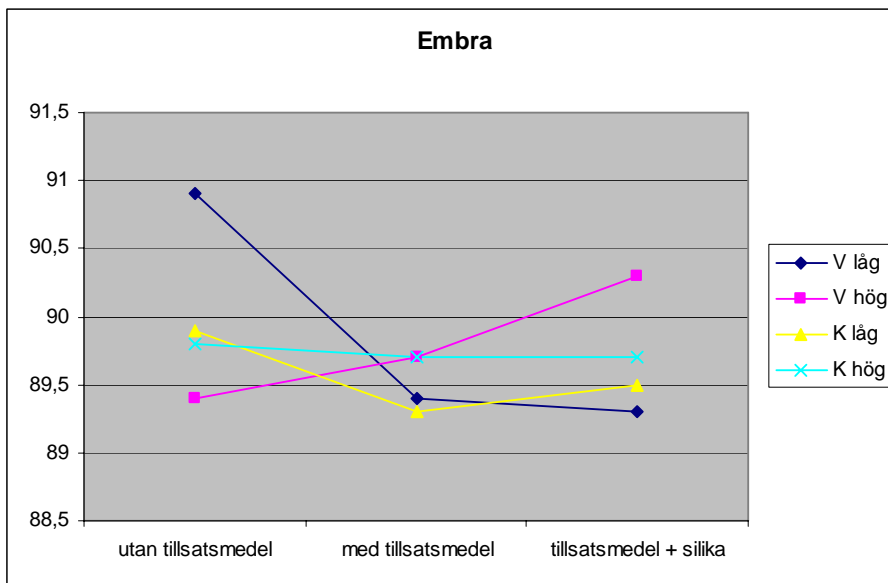
Jämförelse mellan med och utan tillsatsmedel



Figur 26 Jämförelse mellan med och utan tillsatsmedel i prover med Byggcement



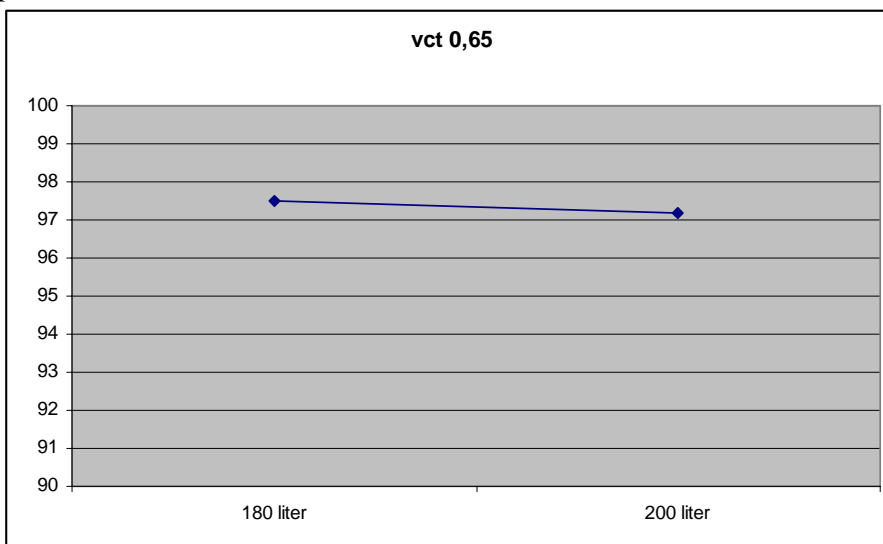
Figur 27 Jämförelse mellan med och utan tillsatsmedel i prover med SH-cement



Figur 28 Jämförelse mellan med och utan tillsatsmedel i prover med Embrace

Jämförelse med betong med vct 0,65

Som jämförelse med alla prover med vct 0,38 så gjorde så gjordes även två enstaka prover med vct 0,65.

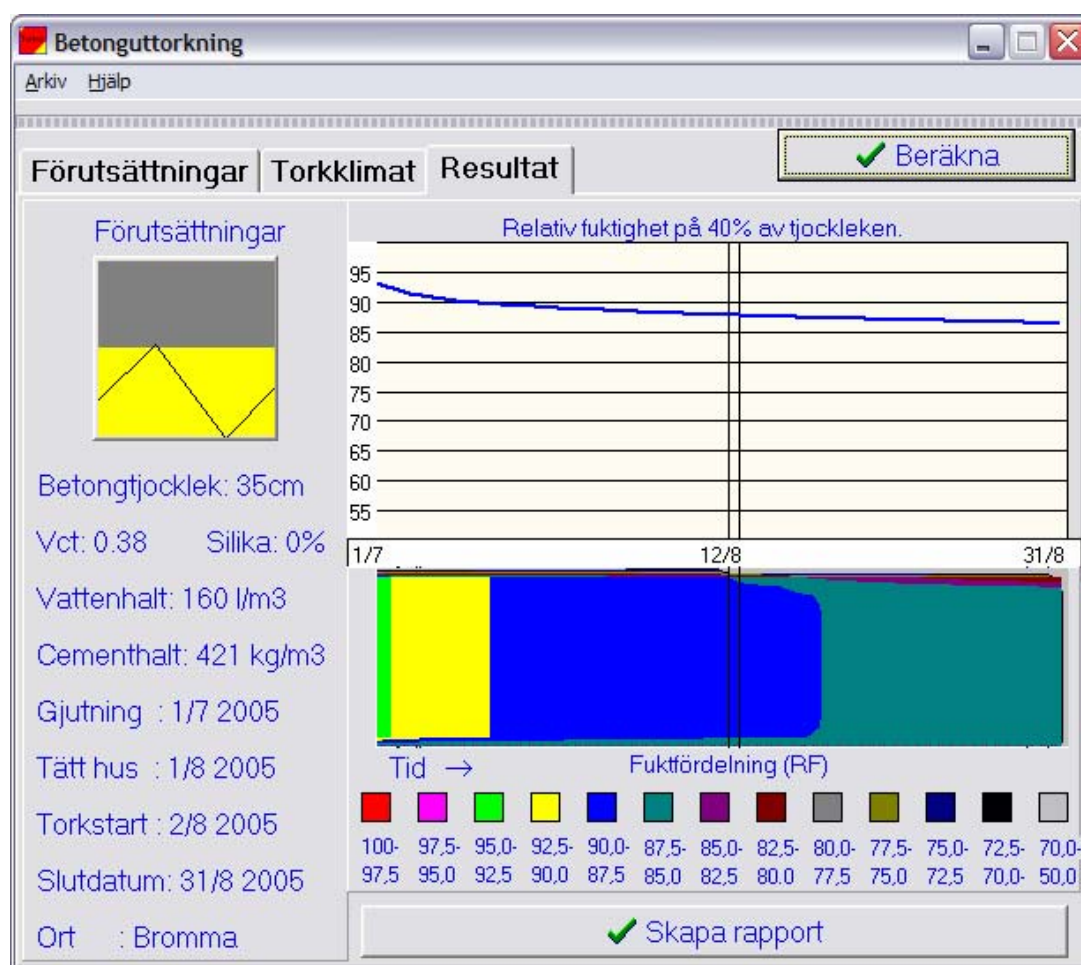


Figur 29 Jämförelse med en vanlig betong med vct 0,65. Två olika vattenmängder och därmed också olika cementmängder.

Jämförelse för byggcement med beräkning i TorkaS

För proverna som har gjutits med Byggcement kan man göra en jämförande beräkning i TorkaS. Om man väljer en betong med låg cementhalt (160kg/m³) enligt serie1 och med ett vct på 0,38 i TorkaS så får man resultatet enligt Figur 30. I den här beräkningen så är temperaturen korrigerad för härdningsvärmerna de första dagarna och sedan är betongen under första månaden membranhärdad i 20 °C. Därefter så är den fortsatt härdad i 20 °C men diffusion ut ur betongen har tillåtits.

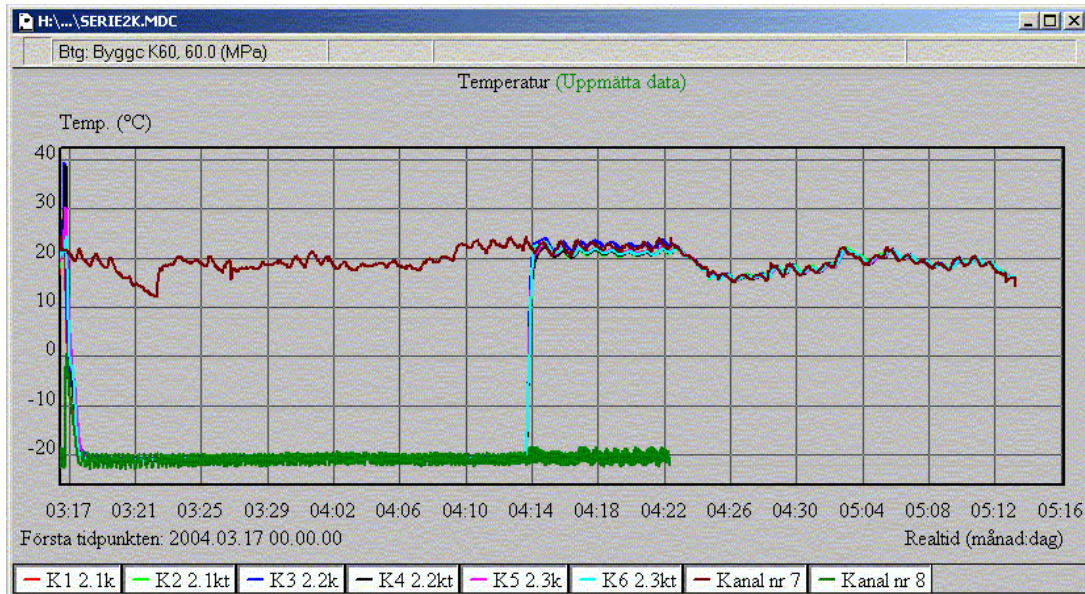
Man kan se att efter 1 månads membranhärdning så håller betongen ca 88 % RF på karakteristiskt djup (betongen tjocklek är satt till 35 cm för att inte ytuttorkning skulle påverka beräkningen). Jämför man detta värde med de uppmätta värdena för Byggcement i Figur 20 så kan man se att det är en väldigt god överensstämmelse mellan beräknat och uppmätt värde för Byggcement.



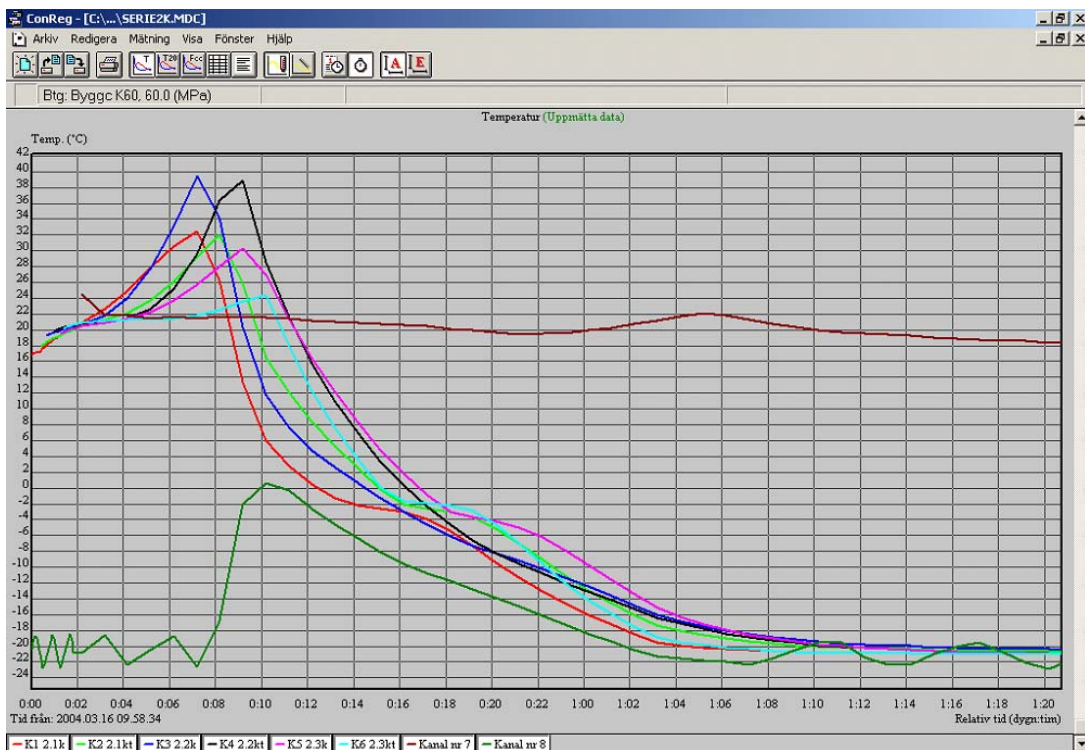
Figur 30 Jämförelse med TorkaS

Mätning av temperatur och mognadsålder

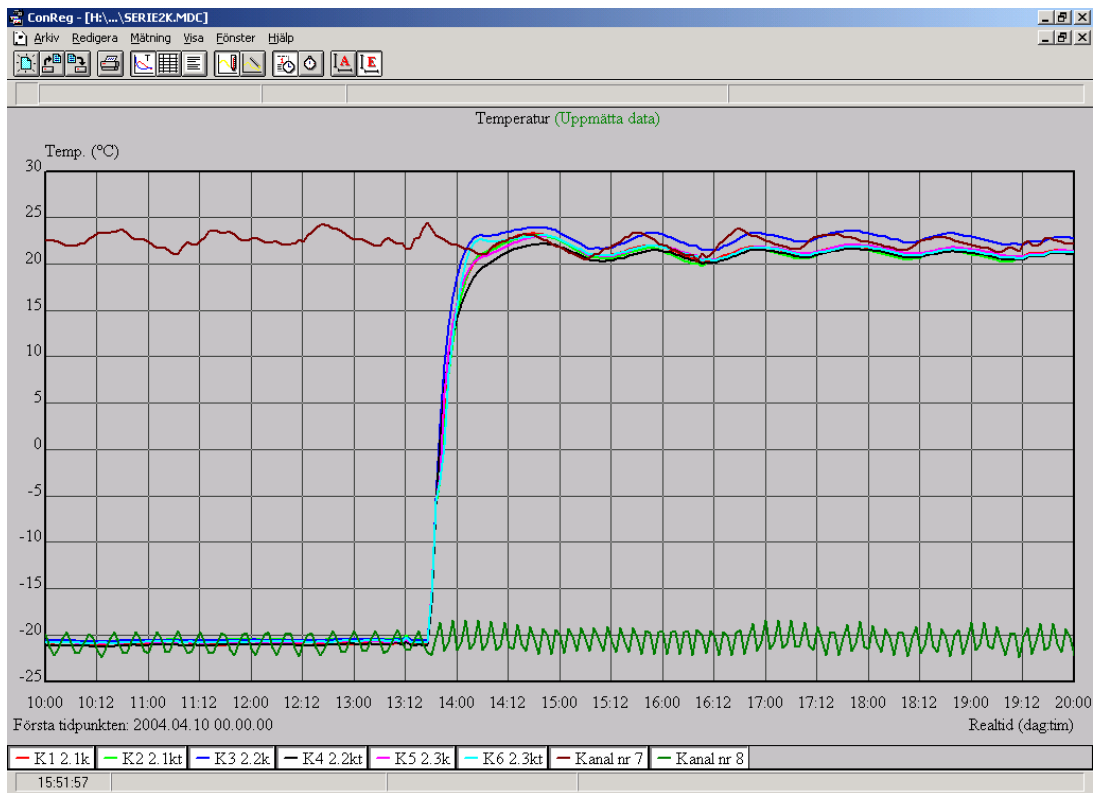
Registrering av temperatur har gjorts för alla prov från gjutning fram till full ekvivalent mognadsålder, d.v.s. till minst 672 mognadstimmar T20. Data för nedfrysade prover har registrerats från gjutning, under frysning och upptining till minst full mognadsålder



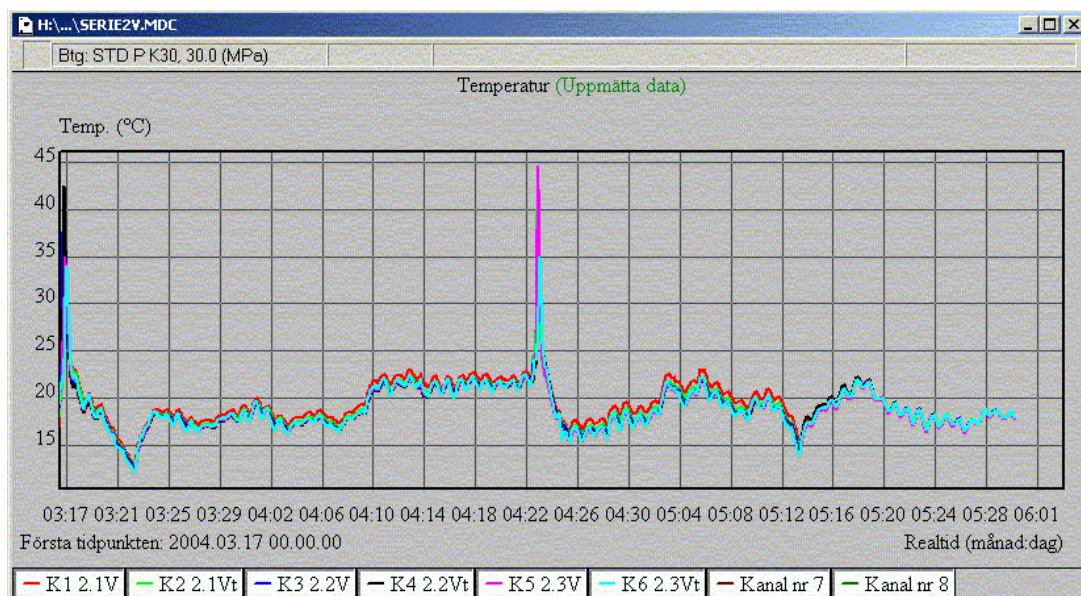
Figur 31 Temperatur hos kallgrade prover serie 2



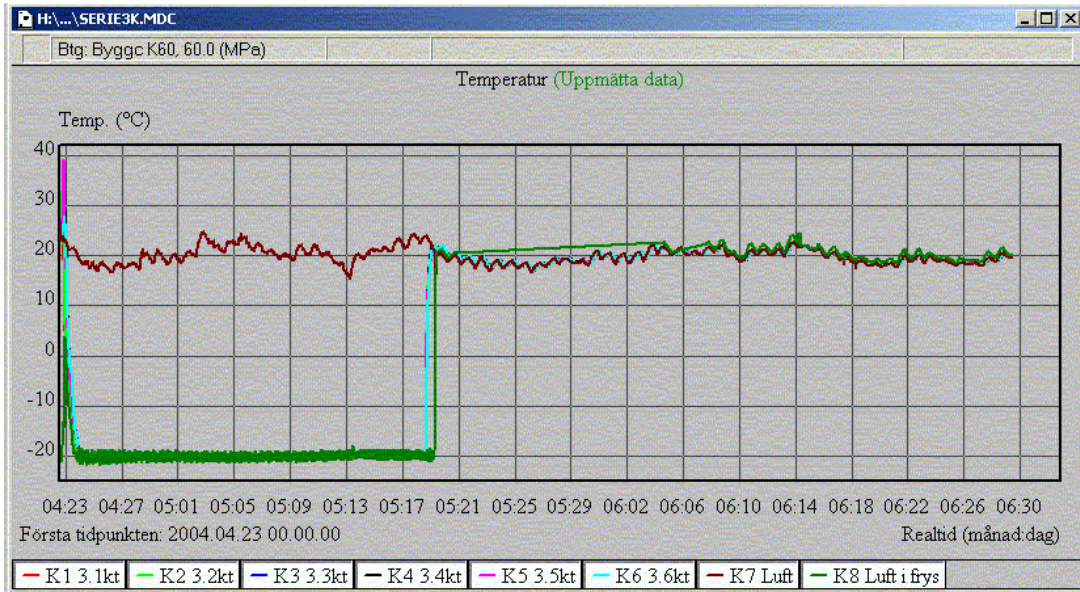
Figur 32 Temperaturen hos kallgrade prover serie 2 under den första tiden



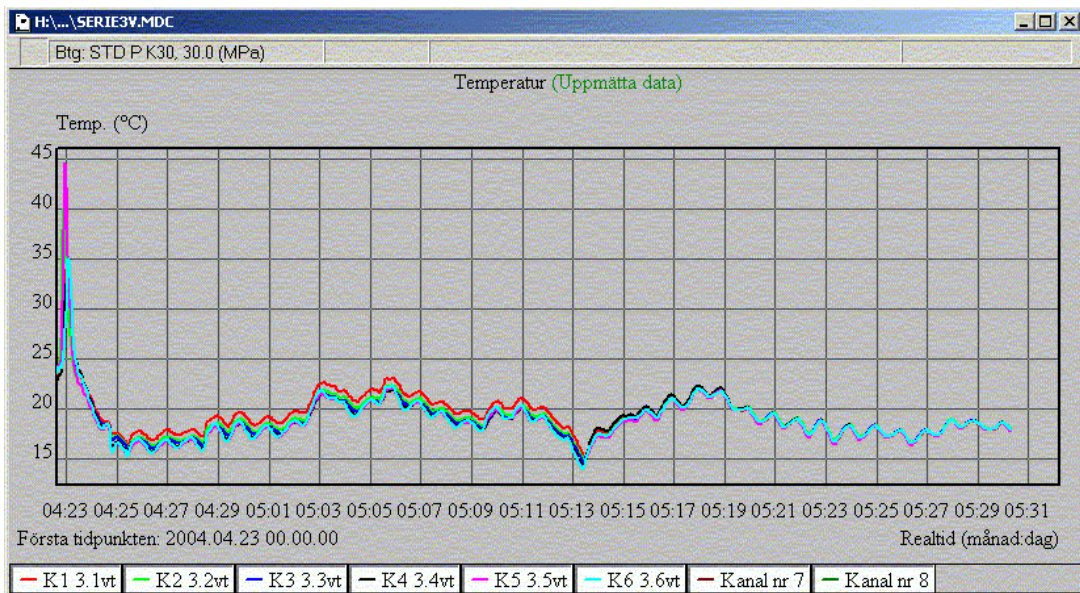
Figur 33 Temperaturen hos kalllagrade prover serie 2 under tiden för då det togs upp ur frysen



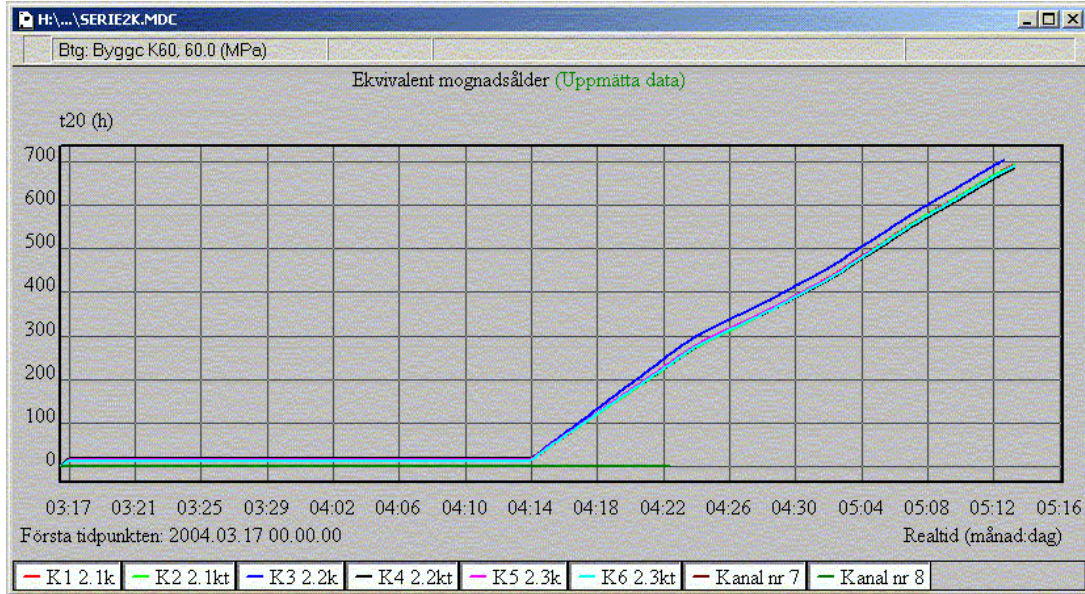
Figur 34 Temperatur hos varmlagrade prover serie 2



Figur 35 Temperatur hos kalllagrade prover serie 3



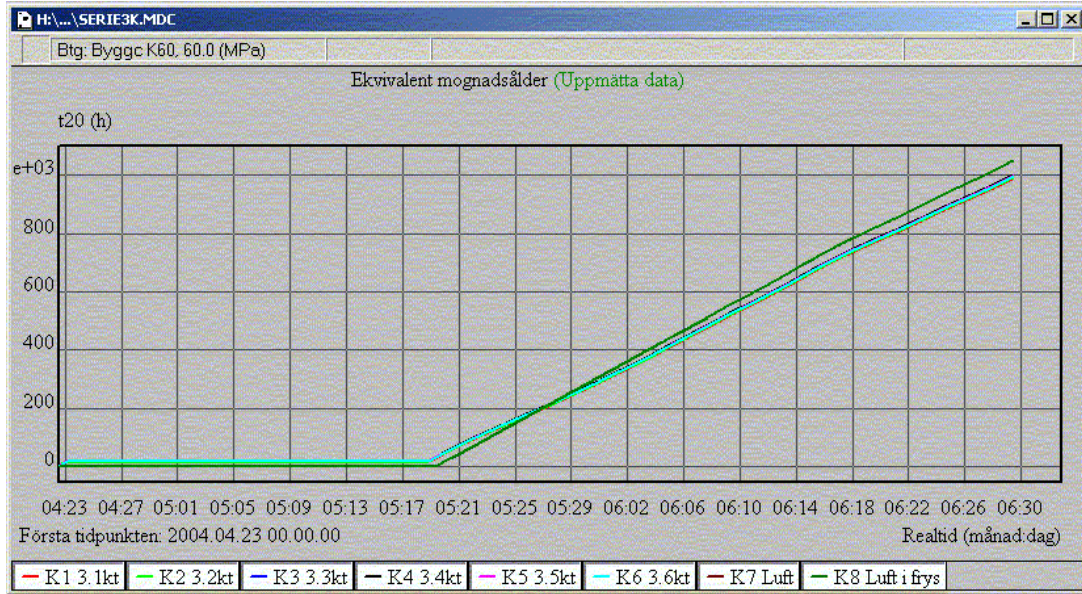
Figur 36 Temperatur hos varmlagrade prover serie 3



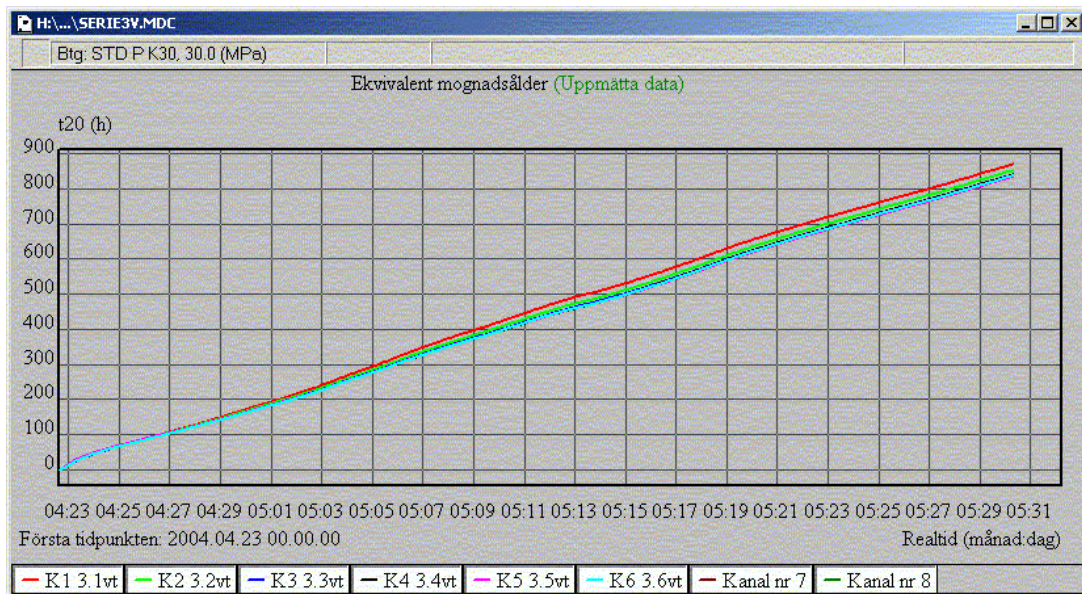
Figur 37 Ekvivalent mognadsålder hos kallagrade prover serie 2



Figur 38 Ekvivalent mognadsålder hos varmlagrade prover serie 2



Figur 39 Ekvivalent mognadsålder hos kalllagrade prover serie 3



Figur 40 Ekvivalent mognadsålder hos varmlagrade prover serie 3

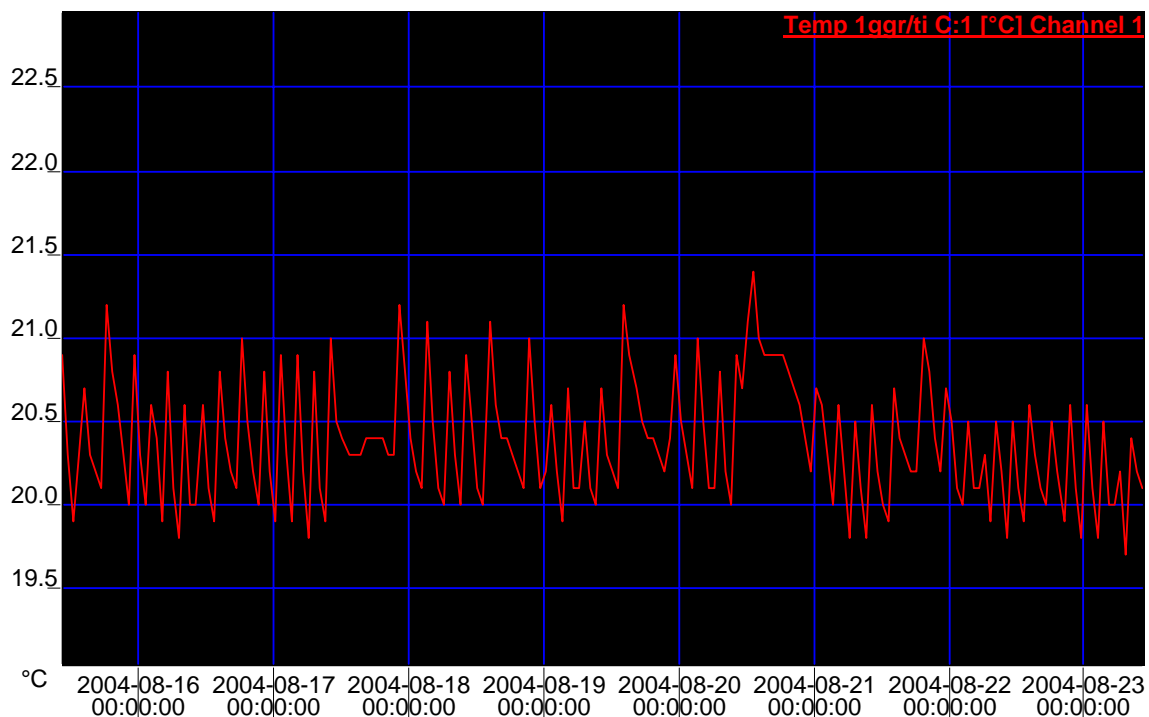
Mätning av rumsklimat

Temperatursvängningarna i lokalen i Billeberga medför att avlästa RF-värden kan ifrågasättas. Det gäller avläsningar utförda t.o.m. 2004-07-09.



Figur 41 Loggning av lufttemperatur i betongstationen i Billeberga

De avläsningar som redovisas i denna rapport, utförda i Billeberga, har valts ut baserat på resultaten från temperaturloggningen av omgivande luft. Målsättningen har varit att en så stabil temperatur som möjligt ska föregå avläsningen. För att en tillförlitlig RF-mätning ska kunna utföras bör temperaturen i betongen inte variera mer än $\pm 1^\circ\text{C}$ under mätningen. Med mätning avses tidsintervallet 48 timmar före avläsning fram till avläsningstillfället. Som en approximation har detta krav transformerats till omgivande lufttemperatur som förutsätts variera max $\pm 2^\circ\text{C}$ för att temperaturkravet i betongen ska vara uppfyllt. Tanken är således att temperaturen ska pendla runt ett jämviktsläge med en maximal differens på 4°C och inte vara konstant ökande eller minskande under mätperioden. Det är tveksamt om detta kan sägas vara uppfyllt vid avläsning 2004-03-15 klockan 06:30. Under 48 timmar fram till avläsningstillfället har temperaturen stigit från $17,5^\circ\text{C}$ till toppnoteringen $20,5^\circ\text{C}$ enligt Figur 41. Detta kan medföra ett fel i avläst RF som ligger utanför uppskattad mätosäkerhet. Av denna anledning flyttades provkropparna till ett klimatrum där de slutliga avläsningarna utfördes.



Figur 42 Loggning av lufttemperatur i klimatrums i Upplands Väsby

I Figur 42 framgår tydligt hur lufttemperaturen svänger runt ett jämviktsläge på ca 20,5°C före avläsningen 2004-08-20, klockan 11:50, och variationen är ca $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Defekta givare

Det har under projektet visat sig att 14 givare av totalt 64 stycken var defekta. Efter montage ska en provavläsning utföras avseende RF-givarens konduktans. Givaren ska då ge ett värde som inte understiger $2,0\mu\text{S}$. Om detta värde underskrids antas givaren vara defekt och ska bytas ut mot en ny.

Vid montage var det fyra givare som inte gav något utslag alls när avläsning utfördes. Ytterligare två givare gav ett utslag $< 2,0\mu\text{S}$ och byttes därför ut efter att de suttit monterad i betongen några dygn. Detta för kontroll av om avläst värde ökade med tiden vilket det inte gjorde. Det visade sig även att några givare som klarade montagekontrollen inte fungerade korrekt. Dessa givare gav orimligt låga RF-värden vid avläsning. Av denna anledning togs beslutet att samtliga givare som användes i projektet för RF-mätning i betong skulle efterkontrolleras. Vid efterkontrollen av resterande givare visade det sig att ytterligare åtta givare låg utanför av tillverkaren angivna specifikationer. Enligt tillverkaren av givarna beror ovanstående på problem i tillverkningen samt givarförpackningen vilket nu justeras.

Efterkontroll av givare

En metod för efterkontroll av Humi-Guardgivare har testats i projektet. Syftet med kontrollen är att avgöra om givaren fungerar som det är tänkt eller om den är defekt. Denna kontroll ger en avsevärt bättre skärpa än om ett tveksamt mätresultat skall kontrolleras genom en parallellmätning med en annan mätmetod. Förutsatt att givaren inte är defekt kan resultatet från kontrollen användas för att räkna fram RF för mätpunkten i fråga med en lägre mätosäkerhet. Detta är möjligt eftersom en och samma givare först används i mätposition i betong och därefter flyttas till ett referensblock och avläses över en referenscell. Efterkontrollen ger således ett mätresultat som har större tillförlitlighet än den normala mätningen.

Denna sätt att beräkna RF minskar även mätfelet beroende av drift, att givare ändrar sitt utslag med tiden vid samma RF-nivå. Risken finns att givare i betong och referensgivarna driver olika eftersom de befinner sig i olika miljö. Används samma givare i mätposition som i referensposition elimineras denna risk.

Efterkontrollen går till på följande sätt:

- Ordinarie referenser i referensblocket läses av
- Referenskonduktansen beräknas med datorprogrammet
- Givaren läses av när den sitter monterad i betongen
- Därefter flyttas givaren till ett referensblock
- Efter minst ett dygn läses givaren av
- Referenskonduktansen beräknas för givaren med de avlästa värdena
- Kvoten beräknas mellan givarens referenskonduktans och ordinarie referensers referenskonduktans
- Om kvoten ligger mellan 0,7 och 1,3 så är givaren godkänd

Förutsatt att givaren är godkänd så kan RF beräknas med en lägre mätosäkerhet än vad som normalt erhålls. Vid denna beräkning används avläst värde från samma givare från mätposition och referensposition. D.v.s. avläst värde när givaren sitter i betongen och som referensvärde, vid beräkning av RF, används avläst värde från samma givare monterad i ett referensblock.

Diskussion och slutsatser

De variabler som har varierats har varit cementsort (Byggcement, SH cement och Embracement), cementhalt (låg =421kg och hög =526kg), lagring (varm och kall) samt inblandning av Silika.

Studeras de olika diagrammen, Figur 8 – Figur 17, kan det tyckas märkligt att avläst RF ökar med tiden i en del fall. Om betongen enbart erhåller en RF-sänkning genom kemisk uppbindning så borde RF sjunka för att därefter stabiliseras. Anledningen till att så inte är fallet kan vara flera. En anledning kan vara temperatursvängningarna som förekom vid Billeberga vilket kan medföra att de momentanvärden avseende RF som redovisas ej är helt korrekta. En annan orsak kan vara att givarna driver med tiden vilket framgår när RF vid efterkontroll jämförs med avläst värde från 2004-08-20. Som exempel kan nämnas att mätpunkt 1.1kt ger avläst RF 88,0% vid avläsning men 87,0% vid utförd efterkontroll vilket delvis kan förklaras med att givaren drivit. I mätpunkt 1.1k ökar RF vid utförd

efterkontroll d.v.s. givaren har drivit ”åt andra hållet”. Avläst RF är 86,5% och RF vid efterkontrollen är 87,7% vilket får anses vara det troligaste värdet för denna punkt. Tidigare avläsning av samma mätpunkt, 2005-04-15, gav 85,6% RF. Detta låga värde kan ifrågasättas eftersom givaren som användes vid detta tillfälle visade sig vara utslagen vid efterkontroll utförd 2004-05-13. (Ny givare monterades i denna mätpunkt)

Om någon generell slutsats ska dras av utförd efterkontroll så visar den på att givarna som suttit monterade i betong med silika visar högre RF vid efterkontrollen än vid sista avläsningen dvs. de verkar ge för låg RF vid mätning. Detta gäller för samtliga mät - punkter utom en. Vad gäller betong utan silika så visar dessa mätningar att vid betong med låg cementhalt så erhålls oftast en negativ avvikelse vid efterkontroll dvs. givarna ger en lägre RF vid efterkontrollen. Vid hög cementhalt däremot är det vanligare att efterkontrollen ger en positiv avvikelse dvs. högre RF erhålls.

Om man studerar Figur 19 där alla provers slutvärden på RF är sammanställda så kan man se att det har blivit en spridning i RF mellan de olika blandningarna på hela 6,1% trots samma vct (0,38). Generellt kan man se att lägsta värdena på RF erhålls hos SH-cement och de högsta hos Embracement. De prover som hade lägst värde var kallgrade prover med hög halt SH-cement.

För att följa AMAs krav gällande betongfukt när man ska lägga in plastmatta så får betongen högst ha 85 % RF. Hos dessa prover så kom inte RF ner under 85 % i något fall. Värdena på två prover i Figur 19 visar lägre värden än 85 % men det är avlästa värden. Ett mätresultat ska alltid inkludera mätosäkerheten och om den adderas till avläst värde så kommer även dessa värden att bli högre än 85 %.

Slutsatsen är att det är stor spridning av RF trots samma vct på grund av de olika cementsorternas olika specifika yta och klinkerinhåll (reaktiva yta). Skillnad mellan hög och låg cementhalt erhöles bara för SH-cement där man i de flesta fall kunde se klart lägre värden när cementhalten var högre.

- Hur påverkar den tidiga härdningen (lagring i varmt klimat) uttorkningshastigheten?
Uttorkningshastigheten följer väldigt väl betongens mognadsålder (betongens lagringstid i 20 °C) medan för betongprover som frystes ned till under – 15 °C stannar den kemiska uppbindningen av vatten av och återupptas när provkroppen värms upp igen och lagras i värme till full mognadsålder = 672 tim innan mätning sker.
- Försämras kemisk bindning av förhindrad härdning?
Det har vi inte kunnat se i detta projekt, snarare att det har blivit lite bättre kemisk uppbindning på SH och Byggcement vid nedfrysning efter att betongen nått mer än 5 MPa till under -15 °C, det verkar som att transportvägarna för vattnet in till klinkern är oförändrad eller något bättre vid upptining till +20 °C fram till full mognadsålder. Vi har sett till att alla nedfrysade prover har fått en bra start innan nedfrysning, det vi inte har provat här är att låta proverna anta en temp 0 – 5 °C innan de nått 5 Mpa och lagra dessa under dessa förhållanden till full mognadsålder vilket kan tänkas ge än tätare cementgel som då blir väldigt tät vilket troligtvis skulle förhindra vattentransporten till klinkern.
- Jämförelse av slutlig RF med förväntad
I de prov som vi har gjort hade vi förväntas oss att RF-värdena skulle hamna

omkring 85-86 % RF för byggcement. De övriga cementsorterna har vi inte hittat några referenser för. Blandningarna med silika hade förväntats komma få ett slutvärde någon procent lägre än blandningar utan men i våra försök blev det ingen skillnad i RF med eller utan silika. Orsaken kan vara att vi tillsatt silika i pulverform och att effekten skulle ha kunnat bli annan vid blandning med slurry.

Vi har även i projektet kunnat konstatera del brister hos givare. Bristerna bestod dels i upptäckten av defekta givare och dels av stor drift hos en del givare när de var i bruk i betong under längre tid.

Fortsatta undersökningar

Resultatet från detta projekt påvisar behovet av nya undersökningar inom två områden. Det ena området är den begränsade kemiska uppbindningen i betongen trots låga vct och inblandning med silika. Det andra området är de i detta projekt konstaterade bristerna hos givarna både avseende skillnaden mellan olika givare och avseende den stora driften hos en del givare. Det skulle vara mycket användbart för branschen att göra en kontroll och jämförelse av olika givare monterade i betong under längre tid.

Har vi fått fram det vi ville med detta projekt? Var det inte så att vi inte lyckades kyla proverna tillräckligt initialt så att vi egentligen borde göra om projektet? Nej, vi har undersökt vad som händer med betong som har frysts ned efter att betongen har nått minst 5 MPa för att inte riskera att få frysskador. Det som skulle vara intressant att kontrollera är vad som händer om man härdar betongen mellan 0 och 5 °C i 7 dygn och sedan fryser en vecka och därefter tinar upp och härdar till full mognadsålder. Man kan då tänka sig att det under de första 7 dygnen bildas en väldigt tät gel runt klinkerkornet som vattnet får väldigt svårt att tränga genom för att bindas kemiskt.

Vad som har hänt med de frysta proverna skulle också vara intressant att ta reda på, en teori är att under den tid proverna varit nedfrysta har det skapats en inre deformation i betongen som skapat bättre förutsättningar för vattnet att nå klinkern. Det som stöder den teorin är att det finns en klar trend att de prover som är nedfrysta har ett lägre RF värde än de varmlagrade som har ett betydligt bättre mognadsklimat. Skulle kanske vara bra att verifiera denna provning.

.

Betongrecept

De mer detaljerade betongrecepten:

Serie	Cement		SF	Vatten	Ballast		Tillsatser Peramin FS [kg]	Luft %
		[kg]			0-8 mm [kg]	8-16 mm [kg]		
1.1	ByggC	421		160	782,03	1001	-	2
1.1t	ByggC	421		160	776,07	993	6,315	2
1.2	SH	421		160	782,03	1001	-	2
1.2 v + k t	SH	421		160	776,07	993	6,315	2
1.3	Embra	421		160	782,03	1001	-	2
1.3t	Embra	421		160	776,07	993	6,315	2
2.1	ByggC	526		200	775,11	812	-	2
2.1t	ByggC	526		200	766,83	803	7,89	2
2.2	SH	526		200	775,11	812	-	2
2.2t	SH	526		200	766,83	803	7,89	2
2.3	Embra	526		200	775,11	812	-	2
2.3t	Embra	526		200	766,83	803	7,89	2
3.1 v+k	ByggC	421	21,05	160	763,14	977	8,42	2
3.2t v+k	SH	421	21,05	160	763,14	977	8,42	2
3.3 v+k	Embra	421	21,05	160	763,14	977	8,42	2
3.4	ByggC	526	26,3	200	674	863	10,52	2
3.5	SH	526	26,3	200	674	863	10,52	2
3.6	Embra	526	26,3	200	674	863	10,52	2
0,65:1 *	ByggC	275		180	993,67	851		2
0,65:2 *	ByggC	310		200	949,96	814	-	2

* Dessa prover ingår inte i försöksupställningen men två prover med 0,65 gjordes som en jämförelse. Två olika betonger med vct 0,65 användes med olika mängd cement.