

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
LUNDS UNIVERSITET

Avd Byggnadsmaterial

INVERKAN AV REGN OCH AVJÄMNINGSMASSA PÅ UTTORKNING AV BETONG

Andreas Abrahamsson
Kristian Tammo

TVBM-5053

Examensarbete

Lund 2003

INVERKAN AV REGN OCH AVJÄMNINGSMASSA PÅ UTTORKNING AV BETONG

**Influence of rain and self-levelling
screed on drying of concrete**

Andreas Abrahamsson
Kristian Tammo

ISRN: LUTVDG/TVBM--03/5053--SE (1-48)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427
www.byggnadsmaterial.lth.se

Förord

Föreliggande rapport är resultatet av ett examensarbete utfört på Avdelningen Byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med CEMENTA AB under 2002/03. Undertecknade vill framföra ett stort tack till handledare Niklas Johansson och examinator professor Göran Fagerlund för professionell vägledning och goda råd under arbetets gång.

Ett tack riktas också till Stefan Backe, Bo Johansson och Ingmar Larsson vid Avdelningen Byggnadsmaterial, LTH vars hjälp har möjliggjort den praktiska delen av arbetet.

Slutligen vill vi tacka CEMENTA AB som till stora delar har finansierat mätutrustningen som användes i studien.

Lund i april 2003

Andreas Abrahamsson

Kristian Tammo

Sammanfattning

Nygjuten betong innehåller stora mängder högalkalisk byggfukt. I kontakt med organiska material kan denna orsaka nedbrytning och det är därför viktigt att säkerställa att betongen hinner torka ut till erforderlig relativ fuktighet innan matläggning sker.

Syftet med föreliggande rapport är att utreda hur uttorkningstiden hos betong med olika vattencementtal påverkas då den utsätts för ett extra fukttillskott genom:

- a) Nederbörd direkt efter gjutning
- b) Beläggning med avjämningsmassa

Ett ytterligare syfte är att göra teoretiska beräkningar över uttorkningsförlopp i datorprogrammet TorkaS 2.0 samt jämföra hur väl dessa överensstämmer med de i studien uppmätta värdena.

I försöken studerades betonger med vattencementtalen 0,35, 0,40, 0,45, 0,55 samt 0,70. Varaktigheten hos nederbörden sattes till 1, 2, 4 samt 7 dagar efter gjuttillfället. Appliceringen av avjämningsmassa gjordes 1 respektive 2 månader efter gjutning.

För att i möjligaste mån efterlikna klimatet på en verklig byggarbetsplats lagrades provkropparna under den första månaden i +5°C, 80% RF för att därefter placeras i +20°C, 60% RF, d v s då golvkonstruktionen kan antas vara skyddad av väggar och tak.

Uttorkningsförloppet för de olika provkropparna studerades genom RF-mätning i borrhål på två olika nivåer: strax under ytan och på det ekvivalenta djupet, vilket är 0,4H från ytan eftersom provkropparna torkade i en riktning.

Resultaten av undersökningen visar att nederbörd direkt efter gjutningen har en inverkan på betongens uttorkningstid som är starkt beroende av betongens vattencementtal. För de två högsta kvaliteterna är den förlängda uttorkningstiden ungefär densamma som nederbördens varaktighet. Nederbördens enda inverkan torde därför vara att betongens uttorkning förhindras under den första tiden efter gjutning. För de lägre kvaliteterna förlängs uttorkningstiden emellertid kraftigt, även vid relativt kort varaktighet hos regnet. Orsaken är sannolikt att en viss vatteninsugning hinner ske innan betongen har blivit tillräckligt tät.

För vct 0,45 förlängs uttorkningstiden till 85% RF med ca 2 veckor vid 2-4 dagars nederbörd och ca 1 månad vid 1 veckas nederbörd. För vct 0,55 är motsvarande förlängning 1 respektive 2 månader. För vct 0,70 har inga säkra uttorkningstider ned till 85% RF kunnat bedömas eftersom provkropparna vid mätningarnas avslutande ännu inte hade hunnit nå 85% RF och uttorkningskurvorna var i det närmaste horisontella. En approximativ extrapolation ger dock en förlängning på 2 å 3 månader vid 2-4 dagars nederbörd och ett knappt halvår vid 1 veckas nederbörd.

Undersökningen visar också att nederbördens inverkan blir större ju lägre RF_{krit} sätts. Den förlängda uttorkningstiden är för de lägre kvaliteterna ca 1 vecka vid uttorkning till 95% RF. För 85% RF är motsvarande förlängning ca 2 månader.

Regnsimuleringarna i TorkaS visar att programmet inte tar någon hänsyn till regn under de första dagarna efter gjutning. Inte ens då varaktigheten hos regnet sätts till en vecka fås någon avvikelse i resultatet jämfört med vad som gäller för en icke regnbelastad betong.

Dessutom stämmer de i TorkaS 2.0 simulerade resultaten dåligt överens med de i studien uppmätta resultaten. För vct 0,55 och 0,70 är de uppmätta resultaten 4 å 6 %-enheter lägre i RF än de simulerade. För vct 0,35-0,45 är avvikelsen ännu högre, 8 å 10 %-enheter.

Vid applicering av avjämningsmassa sker ett fukttillskott till betongen. Detta ger en momentan ökning av RF på 15 mm djup. Fukttillskottet är dock för litet för att påverka RF på ekvivalenta djupet, 48 mm.

För vct 0,55 och 0,70 ökar RF med ca 2 %-enheter på 15 mm mätdjup då avjämningsmassan läggs på 1 månad efter gjutning. För vct 0,40 och 0,45 sker ingen ökning av RF men uttorkningen avstannar något direkt efter att avjämningsmassan lagts på. För vct 0,35 verkar inte avjämningsmassan ha någon inverkan alls på betongens uttorkning; sannolikt är betongen så tät att fukten inte förmår diffundera längre än till det översta ytskiktet.

När avjämningsmassan appliceras efter 2 månader sker en större RF-ökning på 15 mm mätdjup. För betonger med vct 0,55 och 0,70 är ökningen ca 10 %-enheter, och för vct 0,40 och 0,45 ca 6 %-enheter. Även den högsta kvaliteten, vct 0,35, får en viss ökning, ca 4 %-enheter. Sannolikt beror dessa skillnader mellan de olika tidpunkterna på att betongen hunnit bli torrare, varvid fuktpotentialen ökar och därmed också diffusionen. På ekvivalenta djupet påverkas dock inte RF nämnvärt.

Summary

Concrete contains alkaline pore water. It can cause degradation of organic flooring materials like adhesives or plastic carpets put in contact with the concrete. Therefore it is necessary to dry the concrete to a certain relative humidity before applying these types of flooring materials.

The aim of this Master Thesis is to investigate how the drying time of concrete is affected by rain of varying duration hitting the concrete surface directly after casting. Besides the effect on drying of application of self-levelling screed some month after casting is investigated. Another purpose is to compare the measured drying results with simulated using the computer programme TorkaS 2.0.

Five different water cement ratios are investigated, 0.35, 0.40, 0.45, 0.55, 0.70. The duration of the rain was set to 1, 2, 4 and 7 days applied directly after casting. The self-levelling screed was applied 1 month or 2 months after the cast.

The specimens were stored in +5°C and 80% RH the first month, and afterwards in +20°C and 60% RH.

The drying process was studied by measuring the relative humidity (RH) in the specimens on two different depths. 15 and 48 mm from the surface of the concrete.

The results show that rain directly after casting increases the drying time. The increase is highly dependent on the water cement ratio of the concrete. The drying time is more increased the higher the water cement ratio.

Additional water from the flooring screed will also affect the drying time of concrete. It will increase RH on the depth 15 mm but it will not affect RH on 48 mm depth. The amount of increase depends on the concrete quality. It increases with increasing water cement ratio.

The simulations made with TorkaS 2.0 differ from the measurements. The programme TorkaS 2.0 does not consider the influence of early rain. Therefore simulated RH-values are much higher than the measured, especially for low water cement ratio.

Innehållsförteckning

Sammanfattning

Summary

1. Bakgrund	1
2. Syfte	2
3. Frågeställning	3
4. Uttorkning av betong	4
4.1 Allmänt	4
4.2 Typer av fukt i betong	5
4.3 Självuttorkning	8
4.4 Uttorkning utåt	9
4.5 Ekvivalent djup	11
4.6 Inverkan av regn	12
4.6.1 Allmänt	12
4.6.2 Mekanism vid uppfuktning av delvis uttorkad betong	13
4.7 Inverkan av avjämningsmassa	15
4.7.1 Avjämningsmassans uppbyggnad	15
4.7.2 Avjämningsmassans funktion	15
4.7.3 Inverkan på betongens uttorkning	16
5. Fuktmätning i betong	17
5.1 Allmänt	17
5.2 Mätmetoder	17
5.3 Hålmätning med Vaisala-givare	17
5.3.1 Givare	17
5.3.2 Montering av mätrör	18
5.3.3 Montering av givare	19
5.3.4 Avläsning	20
5.3.5 Betongkvaliteter med lågt vct	20
6. Uttorkningsförsök	21
6.1 Försöksupplägg	21
6.1.1 Regnsimulering	21
6.1.2 Applicering av avjämningsmassa	21
6.2 Gjutning av provkroppar	21
6.2.1 Gjutformar	21
6.2.2 Betongrecept	23
6.2.3 Gjutning	23

6.3 Hantering av gjutna provkroppar	24
6.3.1 Regnförsök	24
6.3.2 Försök med avjämningsmassa	24
6.4 Fuktmätning	25
6.4.1 Kalibrering av givare	25
6.4.2 Montering av givare	26
6.4.3 Mätintervall	26
6.4.4 Temperaturens inverkan på avläst RF	27
7. Resultat och utvärdering av uttorkningsförsök	28
7.1 Allmänt	28
7.2 Inverkan av vct på betongens uttorkning	28
7.3 Inverkan av regn på betongens uttorkning	29
7.4 Inverkan av avjämningsmassa på betongens uttorkning	34
8. Användning av datorprogrammet TorkaS	42
8.1 Allmänt	42
8.2 Simulering med TorkaS	42
8.3 Analys av resultat från TorkaS	42
9. Slutsatser	46
10. Referenser	48

Appendix

Appendix A: Betongrecept och den färska betongens egenskaper

Appendix B: Registrering av RF och temperatur i klimatrum

Appendix C: Mätvärden och uttorkningskurvor

Appendix D: Resultat av uttorkningsberäkningar i TorkaS 2.0

1. Bakgrund

Nygjuten betong innehåller stora mängder högalkalisk byggfukt som i kontakt med organiska material kan bryta ner dessa. Limmad plastmatta på nygjuten betong har under de senaste decennierna orsakat stora problem genom att limmet har brutits ner och orsakat mattuppbuktning och förhöjda emissioner. I HusAMA98 /14/ anges kritiska fuktnivåer för material i kontakt med betong. RF_{krit} för vanliga typer av limmad plastmatta sätts i HusAMA till 85%.

Det kan ta mycket lång tid för betongen att torka till 85% RF. Uttorkningstiden beror främst på betongens vattencementtal, konstruktionstyp samt omgivande klimat.

Man kan använda lågalkalisk avjämningsmassa som en alkalispärr för att sänka pH-värdet under mattan och på så sätt skydda limmet, men man måste då beakta att avjämningsmassan tillför ytterligare fukt samt att den minskar uttorkningshastigheten från ytan av betongen.

De vanligaste sätten att få ner fuktillståndet snabbare är att minska yttre luftfuktigheten och höja temperaturen, samt att använda betong med lägre vct. Genom att använda en eller flera av dessa metoder kan man kraftigt minska uttorkningstiden och därmed minska risken att man får byggnader med försämrade inomhusmiljöer.

Vid Lunds Tekniska Högskola har utvecklats ett datorprogram, TorkaS 2.0 /7/, som uppskattar uttorkningstider och fuktprofiler hos nygjuten betong. Detta program har fått stor användning i byggbranschen. Med dess hjälp kan man välja lämpliga betongkvaliteter anpassade till aktuellt byggobjekt. Det är dock osäkert hur väl TorkaS uppskattar uttorkningen då den nygjutna betongen utsätts för nederbörd. TorkaS tar heller ingen hänsyn till hur beläggning med avjämningsmassa skulle påverka uttorkningen.

2. Syfte

Syftet med föreliggande examensarbete är att undersöka hur uttorkningstiden för betong med olika vattencementtal påverkas då den nygjutna betongen utsätts för nederbörd, samt att undersöka effekten på uttorkningstiden av beläggning med avjämningsmassa vid olika tidpunkter. Ett ytterligare syfte är att jämföra de uppmätta resultaten med simulerade resultat från TorkaS 2.0.

3. Frågeställning

Examensarbetet har två huvudfrågeställningar som båda behandlar fukt i betong.

Den första är hur uttorkningen påverkas av nederbörd i tidigt skede, från gjutstart och med varaktighet från 1 dygn till 1 vecka framåt. Riskerar man att betongen tar upp vatten innan den har hunnit bli tillräckligt väl hydratiserad? Påverkas betonger med låga vct mindre av nederbörd än de med höga vct? Det råder även en viss osäkerhet om det regnvatten som eventuellt tas upp i betonger med lägre vct får svårare att diffundera ut ur betongen p g a att betong med lågt vct är tätare.

Den andra huvudfrågeställningen är hur beläggning med avjämningsmassa som görs vid olika tidpunkter påverkar uttorkningen av betongen. Dels sker ett fukttillskott vid beläggningen, dels kan det på betongytan applicerade skiktet fördröja uttorkningen ytterligare. Även i detta fall är det osäkert om höga betongkvaliteter får mindre påverkan än lägre.

Resultaten från det simulerade regnförsöket ska även jämföras med de i datorprogrammet TorkaS 2.0 /7/ simulerade värdena. Det ger en viss uppfattning om hur väl TorkaS överensstämmer med verkligheten i sådana fall där betongen utsätts för nederbörd direkt efter gjutningen.

4. Uttorkning av betong

4.1 Allmänt

Fukttillståndet hos ett material kan uttryckas på flera olika sätt:

- Fukthalt
- Fuktkvot
- Relativ fuktighet (RF)
- Vattenmättnadsgrad
- Kapillärmättnadsgrad

Det i särklass vanligaste sättet att ange fukttinnehållet hos betong är genom RF, som uttrycker kvoten mellan aktuell ånghalt och mättnadsånghalten (som är temperaturberoende).

$$RF = \frac{v}{v_s(\theta)} \quad [-] \quad /12/$$

En stor fördel med detta uttryckssätt är att fuktjämvikt mellan två material definieras av att RF ska vara lika i materialen. Dessutom möjliggör det relevanta jämförelser mellan fukttillståndet i olika material. Utöver dessa fördelar är RF att föredra ur mättekniska aspekter, dels eftersom det inte uppvisar samma känslighet för provets representativitet som är fallet t.ex. för fuktkvot och fukthalt, dels för att själva mätningen är mindre omständlig.

Uttorkning av betong bestäms av ett komplicerat samspel mellan hur mycket vatten som binds kemiskt (hydratiseras) och fysikaliskt samt hur mycket vatten porsystemet kan transportera. I /13/ anges ett antal av de faktorer som påverkar uttorkningstiden för betong, nämligen

- typ av cement
- typ och mängd av tillsatsmaterial
- vattencementtal, vct (eller vattenbindemedelstal, vbt, när tillsatsmaterial används)
- torkklimat, härdningsförhållanden
- konstruktionstyp
- produktionsmetod
- antalet uttorkningsriktningar
- krav på RF vid mattläggning etc.

Den enskilt viktigaste faktorn som bestämmer uttorkningstiden är vattencementtalet.

Detta påverkar nämligen både den sk ”farliga byggfuktens” storlek och den fukttransporterande förmågan. Med ”farlig byggfukt” avses den fuktmängd som måste avges innan betongen nått ned till en högsta tillåten, kritisk fuktnivå.

- Mängden farlig byggfukt ökar med ökat vct
- Porstrukturens finhet ökar med minskat vct, varvid fukttransportkoefficienten minskar

Den första mekanismen innebär att uttorkningstiden ökar med ökande vct, den andra att uttorkningstiden minskar med ökande vct. Nettoeffekten av dessa faktorer blir dock nästan alltid att betongens uttorkningstid minskar med minskat vct. /6/

Tab. 4.1 nedan är hämtad ur /13/ och ger, även om vissa parametrar skiljer sig från de som gäller föreliggande studie, en viss uppfattning om hur vbt, och även silikainblandning, påverkar uttorkningstiden. (Vct definieras: $vct=W/C$. Vbt definieras: $vbt=W/(C+kR)$. W=vattenhalten, C=cementhalten, R=halten mineraliskt restmaterieg – slagg, silikaatof, flygaska-, k=effektivitetsfaktor för restmaterialet. För silikastoft är $k=1$)

Tab. 4.1: Ungefärliga uttorkningstider som erhålls i praktiken för en betongkonstruktion med en tjocklek av 0,20 m, vid dubbelsidig uttorkning, vid en lufttemperatur mellan +10 och +15 °C och en yttre relativ luftfuktighet på 50-80%. Tabellen avser betong med cement Slite Std. Torktiden räknas från gjuttillfället. /13/

Betongtyp	vbt	Silika- mängd [%]	Hållfast- hetsklass	Uttorkningstid till 90%. [Veckor]	Uttorkningstid till 85%. [Veckor]
Traditionell husbyggnads- betong	> 0.50	0	< K45	> 12*	> 19*
		5		> 10*	> 15*
		10		> 8*	> 12*
Betong med viss själv- torkning	0.38 - 0.50	0	K45 - K60	9 - 12*	15 - 19*
		5		7 - 10*	10 - 15*
		10		5 - 8*	7 - 12*
Snabb- torkande betong	0.38 - 0.32	0	K60 - K90	5 - 9	10 - 15
		5		3 - 7	6 - 10
		10		2 - 8	4 - 7
Själv- torkande betong	< 0.32	0	> K90	3 - 5	6 - 10
		5		2 - 3	4 - 6
		10		1 - 2	2 - 4

* Torktiden förutsätter att betongen inte utsätts för nederbörd och gäller från det att ytan är torr.

4.2 Typer av fukt i betong

Fukt i betong kan härstamma från många olika källor. I /13/ indelas den i tre huvudgrupper, nämligen:

- Byggfukt - fukt tillförd vid gjutningen
- Ytfukt - fukt tillförd efter gjutningen
- Limfukt - fukt tillförd i samband med golvläggning

Byggfukt

Den totala byggfukten är, enkelt uttryckt, den fukt mängd som ska bortföras, d.v.s. torka ut, innan konstruktionen uppnått jämvikt med sin omgivning, se fig. 4.1. Det vatten som binds kemiskt när betongen hårdnar medräknas dock inte i byggfukten, utan det är endast överskottsvattnet som avses.

Byggfuktens storlek, W_B , kan uttryckas som

$$W_B = W_0 + \Delta W_0 - W_N - W_\infty \quad [\text{kg/m}^3] \quad /10/$$

där W_0 = tillförd mängd blandningsvatten

ΔW_0 = tillförd mängd vatten vid härdning, innan torkning startar

W_N = kemiskt bunden vattenmängd

W_∞ = vattenmängd då konstruktionen uppnått jämvikt med omgivningen

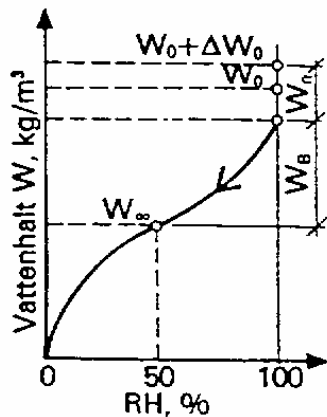


Fig. 4.1: Desorptionisoterm för betong. Definition av byggfukt i betong - principiellt /10/

Vid tillverkning av konventionell betong brukar den tillförda vattenmängden ofta vara av storleksordningen 180 l/m^3 . /6/

Det är nästan alltid av större intresse att erhålla en uttorkning ned till en viss kritisk nivå, svarande t.ex. mot en kritisk RF för ett golvmaterial. I detta fall kan den s k "farliga byggfukten" uttryckas som

$$W_{B,krit} = W_0 + \Delta W_0 - W_N - W_{krit} \quad [\text{kg/m}^3] \quad /10/$$

där W_{krit} = jämviktsfukthalt vid kritisk RF

I /10/ anges även ekvationer för att beräkna de olika vattenmängderna som ingår i uttrycken ovan.

Rent generellt kan man konstatera att byggfukten reduceras när: /10/

- vct sänks
- cementhalten sänks med oförändrat vct. Effekten är särskilt stor vid höga vct
- betongen membranhärdas. ΔW_0 är då noll d v s inget vattentillskott behövs efter gjutning. Den relativa betydelsen är störst för låga vct.

Ytfukt

Till denna kategori räknas all till konstruktionen tillförd fukt som inte kan kopplas till vare sig gjuttilfallet eller golvläggningen. Detta kan vara t.ex. bevattning av betongytan i syfte att undvika sprickbildning de första dagarna, alltså en avsiktligt tillförsel av fukt (ΔW_0 i ekvationen ovan). Ofta är dock den tillförda fukten oavsiktlig, vanligen p.g.a. nederbörd men även fukt som härrör från läckage räknas in här. Inverkan av nederbörd behandlas mer utförligt i 4.6 nedan.

Limfukt

Denna kategori innefattar all den fukt som tillförs konstruktionens yta strax före själva golvbeläggningen, d.v.s. inte enbart fukt från limmet utan även från spackel, avjämningsmassa etc.

På grund av desorptionsisotermernas olika utseende för höga och låga betongkvaliteter, se 4.3, kommer fuktprofilerna att uppvisa vissa skillnader efter golvläggning.

I fig. 4.2 nedan framgår principiella RF-profiler för konventionell betong t.v. och självtorkande betong t.h. Den prickade kurvan beskriver fuktprofilen innan omfördelning, den streckade efter.

I fallet med konventionell betong blir fukttillskottets inverkan på RF i ytan ringa. Detta beror på den relativt stora lutningen hos desorptionsisotermen. När fukten sedan omfördelas kommer RF i ytan att bli större än vad den var p.g.a. fukttillskottet.

Den självtorkande betongen har en närmast horisontell desorptionsisoterm, vilket medför att endast ett ringa fukttillskott kan öka ytans RF till närmare 100%. Efter omfördelning blir dock RF lägre än den var vid golvbeläggningen.

Detta är en tydlig skillnad mellan betonger med högt respektive lågt vct. Att fukt i självtorkande betong har en betydligt långsammare transporthastighet gör däremot att den tillförda limfukten ändå är av större betydelse vid lågt vct, eftersom RF kommer att vara högt i ytan under en relativt lång tid innan fukten har hunnit omfördelas.

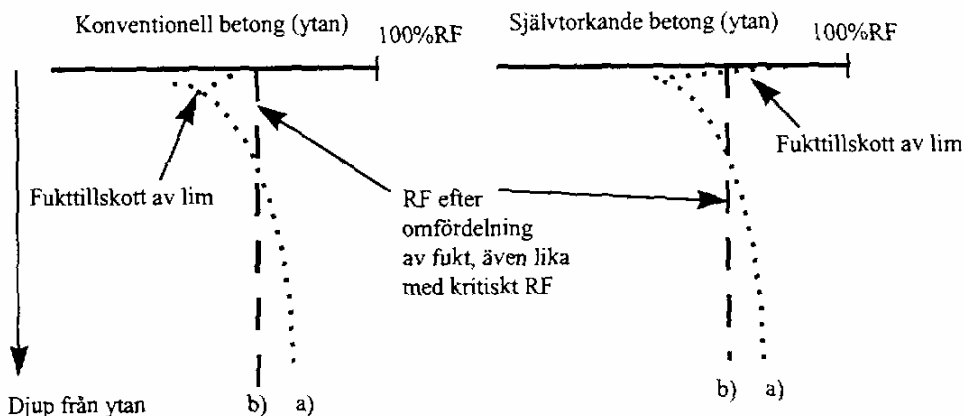


Fig. 4.2: RF-profilen före och efter omfördelning av kvarvarande byggfukt och tillförd limfukt. Kurva a) är före omfördelning men med tillförd limfukt. Kurva b) erhålls några månader efter mattläggning då RF har utjämnats i konstruktionen. /13/

4.3 Självuttorkning

Hos en betong som härdas utan vattentillförsel och med förhindrad avdunstning, d.v.s. membranhärdas, sker trots detta en inre uttorkning, sk självuttorkning. Detta beror på att vattnet som binds kemiskt endast kommer att uppta 75% av sin ursprungsvolym. De resterande 25% kommer då att utgöras av luftfyllda porer i den härdade pastan. Eftersom den kemiskt bundna vattenmängden beräknas som

$$W_n = 0,25 \cdot \alpha \cdot C \quad [\text{kg/m}^3] \quad /1/$$

kan den av självuttorkningen skapade luftporvolymen tecknas

$$V_{\text{luft}} = 0,25 \cdot 0,25 \cdot \alpha \cdot C / \gamma_w \quad [\text{m}^3/\text{m}^3] = 0,0625 \cdot \alpha \cdot C \quad [\text{l/m}^3]$$

Där α är hydratationsgraden [-]

C är cementalten

γ_w är densiteten för vatten [kg/m^3]

Hydratationsgraden beror, vid oförändrad sammansättning hos cementet, huvudsakligen på härdningstiden, men är under de första dyggen en termiskt aktiverad process som kan beskrivas med den s k Arrheniusfunktionen. /1/

Vid $v_{ct} < 0,39$ finns en maximalt möjlig hydratationsgrad med värdet $\alpha_{\text{max}} = v_{ct}/0,39$. Detta beror på att det inte finns plats för fullständiga hydratationsprodukter vid så låga v_{ct} .

Självuttorkningens storlek vid en viss tidpunkt är alltså i första hand avhängig cementhalten, vattencementtalet, lagringstiden och lagringstemperaturen.

Eftersom självuttorkningen beror på vattnets volymreduktion kommer den att bli lika stor över hela tvärsnittet och alltså oberoende av randvillkoren, se fig. 4.3 nedan. (I tjocka konstruktioner kan dock vissa skillnader uppträda under den första tiden beroende på värmeutveckling i betongen som höjer temperaturen i mitten och därmed också hydratationsgraden där.)

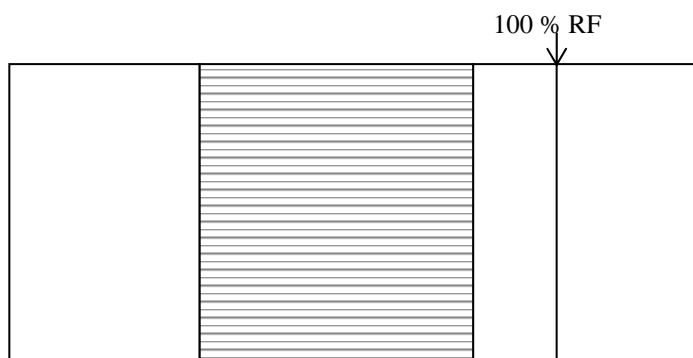


Fig. 4.3: RF-fördelning av självuttorkning, principiellt

Självuttorkning uppträder i all betong oavsett vattencementtal, men dess effekter skiljer sig väsentligt. I normal betong, med v_{ct} 0,45 á 0,50 eller högre, märks ofta inte självuttorkningen, och av denna anledning började inte fenomenet studeras och beaktas förrän snabb- och självuttorkande betong börjat användas i större skala.

För höga betongkvaliteter med lågt v_{ct} är effekten av självuttorkning uppenbar; även vid lagring i vatten kan en relativt låg RF bibehållas.

Självuttorkning medför nämligen alltid en minskning av betongens vattenmättnadsgrad. Denna minskning skiljer sig inte så mycket mellan olika vct, men på grund av desorptionskurvornas utseende kommer skillnaden i inre RF att bli desto större.

Betong med lågt vct har en närmast horisontell desorptionsisoterm, och därför kommer även en liten minskning av vattenmättnadsgraden att sänka RF betydligt. För höga vct är desorptionsisotermen mer vertikal och effekten på RF av självuttorkningen blir i praktiken försumbar, se fig. 4.4. /5/

Skillnaderna hos desorptionsisotermerna sammanhänger med porstrukturens utseende. Porsystemet hos höga betongkvaliteter är tätare och mer finporöst medan det hos låga kvaliteter har en grövre struktur.

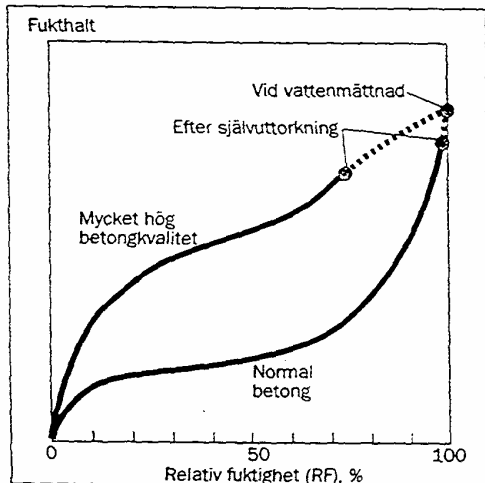


Fig. 4.4: Desorptionsisotemer för betong med lågt resp. högt vattencementtal. Principiellt. /5/

4.4 Uttorkning utåt

Diffusion är en process som innebär att ämnen vandrar från en punkt med högre koncentration till en punkt med lägre koncentration. Förloppet kan beräknas ur den s k Ficks lag. Denna formel kan enkelt överföras till specialfallet diffusion av vatten, varvid koncentrationen ersätts med en viss typ av "fuktpotential", och tecknas då:

$$q = -\delta_i \cdot \frac{di}{dx} \quad /2/$$

där q är flödet [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$]

δ_i är fuktransportkoefficienten för potentialen i

di/dx är gradienten hos potentialen i

Potentialen i kan uttryckas på fyra olika sätt: /2/

- Ånghalt, c [kg/m^3] potential δ_c
- Ångtryck, p [Pa] potential δ_p
- Relativ fuktighet, RF [-] potential δ_{RF}
- Vattenhalt, w [kg/m^3] potential δ_w

För betong minskar fukttransportkoefficienten, uttryckt i c , p eller RF , kraftigt med minskande RF -nivå. Dessutom minskar den med ökande ålder, vilket beror på att materialstrukturen blir allt tätare ju mer betongen härdar, d v s ju mer porsystemet förfinas. /3/ Exempel på detta visas i fig. 4.5 och 4.6 nedan. Dessa värden gäller för försök på betong med $v_{ct}=0,6$, men det principiella utseendet på kurvorna är likartat för andra kvaliteter.

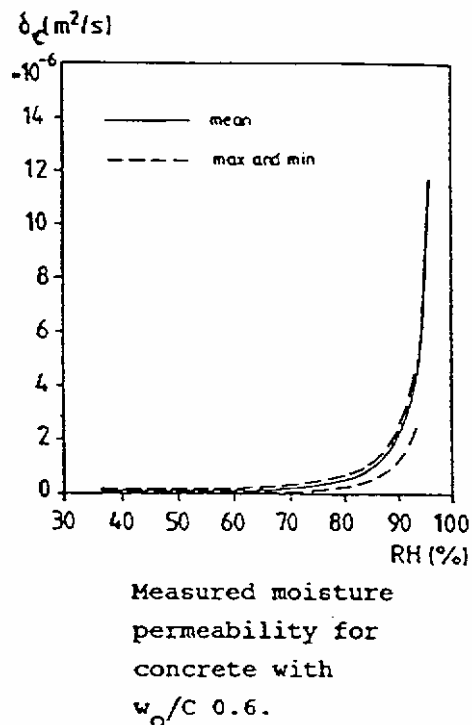


Fig. 4.5: Fukttransportkoefficienten δ_c som funktion av RF för betong med $v_{ct}=0,6$ /2/

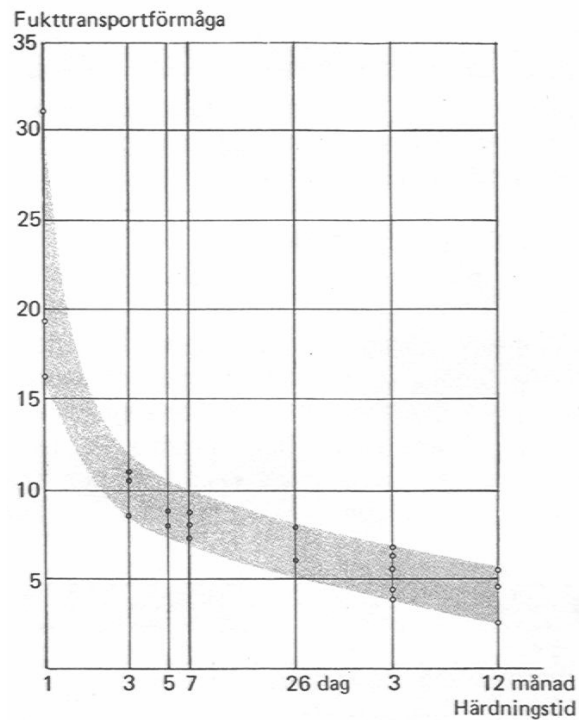


Fig. 4.6: Fukttransportförmåga (uttryckt i δ_w) som funktion av betongens ålder för $v_{ct}=0,6$ /6/

När betongens yta medges att avge vatten genom avdunstning kommer en uttorkning utåt att ske varför RF i tvärsnittet kommer att variera med djupet. Den drivande kraften för denna uttorkning är som nämnts skillnaden i fuktpotential mellan olika punkter i betongen. Hastigheten på uttorkningen är störst i början eftersom fukttransportkoefficienten är som högst vid höga fuktillstånd, för att sedan kraftigt avta när viss uttorkning har skett. Transportkoefficienten beror också, som tidigare nämnts, på betongens v_{ct} .

4.5 Ekvivalent djup

Uttorkningen av betongen kommer att pågå så länge som det existerar en fuktpotentialskillnad över tvärsnittet, och betongen därför strävar efter ett jämviktstillstånd som bestäms av temperatur och ånghalt i omgivande klimat. Tiden som krävs för att jämvikt ska nås är emellertid mycket lång, särskilt i tjocka konstruktioner.

Fuktprofilen styrs, förutom av yttre klimatet och torktid, även av konstruktionens randvillkor. Normalt begränsar man sig till att studera de båda ytterlighetsfallen dubbelsidig och enkelsidig uttorkning, se fig. 4.7 och 4.8. Praktiska exempel på den förra är mellanbjälklag och innerväggar. Exempel på den senare är betongplatta på mark, men även bjälklag gjutna på tät kvarsittande form, t.ex. plåtform. /6/

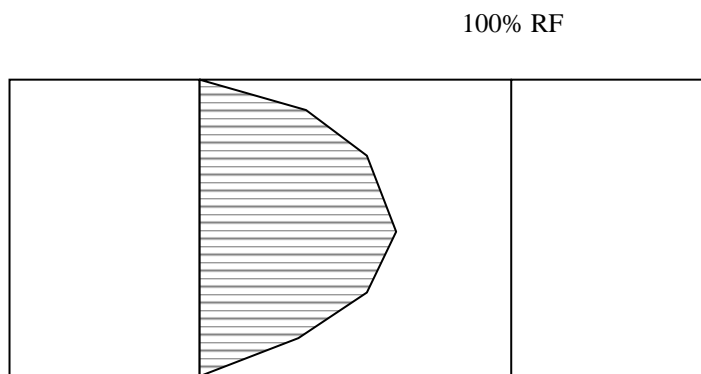


Fig. 4.7: Fuktprofil vid dubbelsidig uttorkning, principiellt

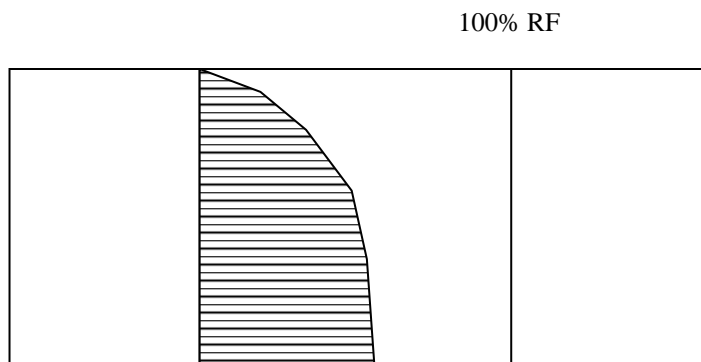


Fig. 4.8: Fuktprofil vid enkelsidig uttorkning, principiellt

Efter viss uttorkning av en betongplatta har denna en viss fuktprofil. Om man belägger konstruktionen med ett tätt golvmaterial, t.ex. PVC-matta, kommer fukten att omfördelas, varvid fuktnivån omedelbart under mattan stiger.

Det s k ekvivalenta djupet, som också benämns kritiska djupet, definieras av den punkt där fukttillståndet före omfördelning av fukt är detsamma som fukttillståndet under ett oändligt tätt golvmaterial efter fullständig omfördelning, se fig. 4.9.

Storleken på det verkliga fukttillstånd som nås under golvmaterialet (i betongens överyta) beror av plattans randvillkor, d.v.s. i vilka riktningar konstruktionen tillåts torka ut och hur tät ytbeläggningen är. Detta innebär att även det ekvivalenta djupet i viss mån är beroende av randvillkor och golvetts täthet. Detta försummas dock normalt. Det ekvivalenta djupet beror troligen också på den använda betongkvaliteten men även detta försummas oftast. /6/

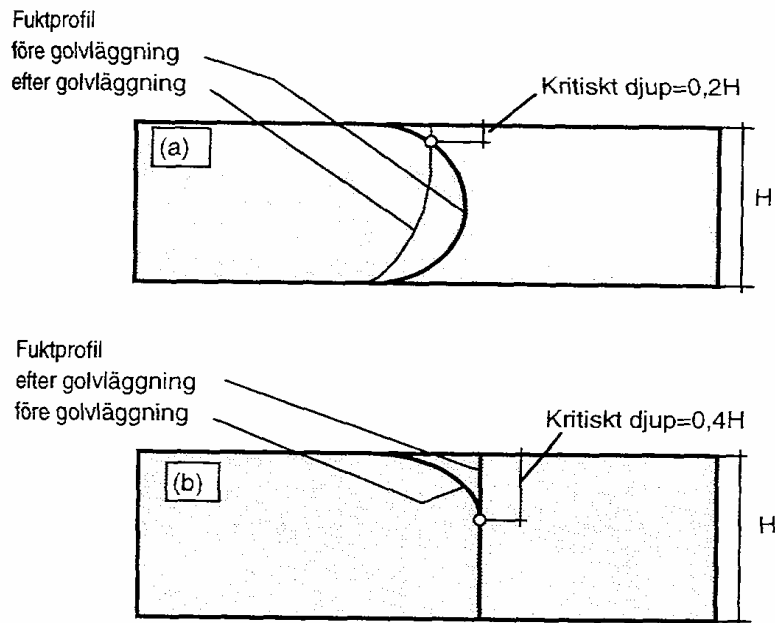


Fig. 4.9: Definition av ekvivalent (kritiskt) djup /4/

I många fall kan uttorkningen ske åt båda hållen fast med en stark förskjutning åt det ena. Ett exempel är där ena ytan har kvarstående tämligen tät form eller är ytbehandlad. Av praktiska skäl betraktas då oftast uttorkningen som enkelsidig.

Vid dubbelsidig uttorkning används effektivt djup $0,2H$, där H =konstruktionstjockleken. Vid enkelsidig uttorkning används $0,4H$.

4.6 Inverkan av regn

4.6.1 Allmänt

I vårt klimat är det tämligen vanligt att nygjuten betong exponeras för regn. Det är ovanligt att den nygjutna betongen väderskyddas.

Kunskapen om hur regn direkt efter gjutning påverkar uttorkningsförhållandena är mycket begränsad. En större studie om uttorkningsförlopp gjordes 1995 vid avd Byggnadsmaterial, LTH /6/ och dess resultat har bl.a. använts för att verifiera beräkningar med datorprogrammet TorkaS./7/ I denna studie gjordes även vissa försök där betongen utsattes för fritt vatten. Vid undersökningen studerades fem olika typfall med olika lagringsförhållanden: /6/

Typfall a) "Normalfall"

Regn 2 veckor+förhindrad uttorkning (100% men ingen nederbörd) 2 veckor+styrd torkning (18°C, 60% RF)

Typfall b) "Mycket torrt"

Styrd torkning redan efter 1 dygn

Typfall c) "Måttligt torrt"

Regn 2 veckor+styrd torkning

Typfall d) "Torrt"

Förhindrad uttorkning 4 veckor+styrd uttorkning

Typfall e) "Mycket fuktigt"

Regn 4 veckor+styrd uttorkning

Fig. 4.10 nedan visar uttorkningsförloppen för de fem typfallen.

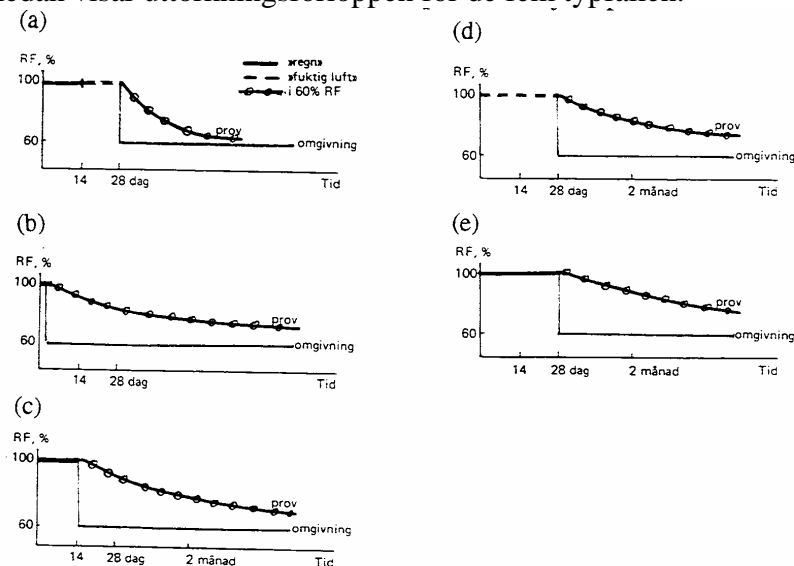


Fig. 4.10: Undersökta typfall med olika fuktbelastning efter gjutning /6/

Studien visade att uttorkningstiderna för de olika typfallen skilde sig markant. För vct 0,4 skilde ca 2 månader mellan torraste och fuktigaste fallet och skillnaden ökar sedan betydligt med ökande vct. För de fullständiga resultatet av studien, se /6/.

4.6.2 Mekanism vid uppfuktning av delvis uttorkad betong

En nygjuten betong är 100% vattenmättad. De luftporer som är naturliga eller inblandade medräknas ej då dessa aldrig kommer att bli vattenfyllda. När ca 4 timmar förflutit sedan gjuttillfället börjar cementet att hydratisera varvid en självuttorkning initieras.

Som beskrevs i 4.3 ovan kan den genom självuttorkningen skapade luftporvolymen beräknas som: $V_{\text{luft}} = 0,0625 \cdot \alpha \cdot C$ [l/m^3]

Hydratationsgraden är approximativt ca 0,35 efter ett dygn och ca 0,7 efter en vecka. Tab. 4.2 nedan ger en viss uppfattning om storleksordningen på de volymer som skapas.

Tab. 4.2: Av självtorkning skapad luftfylld porvolym i l/m³

Cementhalt	1 dygn	1 vecka
250 kg/m ³	5,5 l/m ³	11,0 l/m ³
400 kg/m ³	8,8 l/m ³	17,5 l/m ³

Under de första dygnen har betongen inte hunnit uppnå någon avsevärd täthet, varför det finns en risk att den skapade luftporvolymen fylls med vatten när konstruktionen utsätts för regn. Denna fukt sugas kapillärt in i betongen; insugningens hastighet och djup beror på betongens kvalitet, d.v.s. dess vct (vbt). För vanlig betong sker insugningen relativt snabbt, medan den vid låga vct kan ta betydligt längre tid.

Enligt tab. 4.2 ovan kan det alltså efter en veckas regn i värsta fall innebära att konstruktionen upptar fuktmängder i storleksordningen 10 á 20 liter vatten per kubikmeter betong, vilket i så fall givetvis förlänger uttorkningstiden avsevärt.

Betonger med lågt vct anses tåla regn direkt efter gjutning bättre än vad som är fallet med höga vct. Anledningen till detta är att betongens täthet ökar snabbare vid låga vct, vilket medför att mindre regn hinner sugas in i betongen innan den blir tät. Inverkan av självtorkningen på inre RF är som tidigare nämnts större för betonger med lägre vct beroende på desorptionsisotermens lutning som behandlats i 4.3 ovan. Lågt vct kan emellertid också vara en nackdel. Konsekvensen vid uppfuktning av betong blir att en hög betongkvalitet, vid samma uppsugen vattenmängd, får en högre RF-ökning än en sämre kvalitet. /5/

Insugningen gör det svårt att på förhand uppskatta hur fuktprofilen i konstruktionen kommer att se ut. Fukttillståndet i ytan kan vara högt, även om RF på mätdjupet ligger på måttlig nivå. På ett visst djup sker alltså en kraftig förändring av RF, beroende på hur långt vattnet förmått att tränga in, se fig. 4.11 nedan. Om man önskar studera hur vatteninsugning sker måste man av praktiska skäl placera RF-givaren på ett visst avstånd från ytan, och det är då inte säkert att mätningen kan göras i det intressanta intervall där insugningen påverkar fukttillståndet. Särskilt påtaglig blir denna svårighet för betonger med lågt vct.

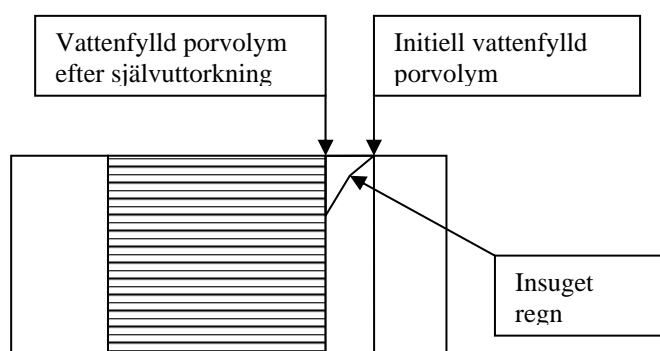


Fig. 4.11: Fuktfördelning i betong innan och efter regn, principiellt

Storleken på vatteninsugningen är temperaturberoende. Vid en lägre härdningstemperatur tillväxer hydratationsgraden långsammare och betongen blir därför inte tät lika snabbt. Då betongen alltså är öppen under en längre tid finns det risk att mer vatten kan hinna sugas in när temperaturen minskas. Å andra sidan ger den lägre hydratationsgraden också en lägre självtorkning, varför det inte kommer att finnas lika mycket tillgängligt utrymme för vattnet att sugas in i.

4.7 Inverkan av avjämningsmassa

4.7.1 Avjämningsmassans uppbyggnad

Det vanligaste bindemedlet i avjämningsmassor är aluminatcement, men även portlandcement och gips används. Det är inte heller ovanligt att man kombinerar olika bindemedel. Aluminatcementbaserade avjämningsmassor har lägst pH-värde och ger därför också störst pH-reducerande effekt, medan portlandcementbaserade ger det högsta pH-värdet.

För att erhålla goda flytegenskaper tillsätts också ämnen baserade på melamin eller naftalen. Dessa har ersatt många av de proteiner som gav emissionsproblem. /13/

4.7.2 Avjämningsmassans funktion

Avjämningsmassa, tidigare benämnt flytspackel, används för att täcka över fogar och ojämnheter i ytan hos golvet så att en slät yta erhålls på vilken mattläggning lätt kan göras. För att möjliggöra detta krävs att avjämningsmassan är lättflytande. Avjämningsmassor kan även användas för att skapa en för avrinningen erforderlig lutning. I detta fall krävs en något fastare massa som i viss mån är formbar.

En viktig funktion hos avjämningsmassan är att den jämnar ut fuktprofilen i ytskiktet. Genom att avjämningsmassan fungerar som en fukthållande buffert ger inte golvläggningen någon påtaglig ökning av RF i den underliggande betongen. Dessutom suger avjämningsmassan in mer vatten från golvljimmets än vad en tät betong gör, vilket sänker RF även i limskiktet. Detta gäller både aluminat- och portlandcementbaserade avjämningsmassor. Användningen av avjämningsmassa innebär dock inte att man kan lätta på kravet på betongens uttorkning till rätt RF. Avjämningsmassan innehåller även en mängd tillsatsmedel som kan ge emissionsproblem, både på kort och på lång sikt, om fuktnivåerna i massan är för höga. /13/

Emissioner från golvmaterial och lim kan stimuleras av ett högt pH i betongytan, och i dessa fall kan avjämningsmassa ha en positiv effekt. Aluminatcementbaserade avjämningsmassor med dess lägre pH-värde minskar risken för nedbrytning av t ex mattlim i kombination med PVC-matta.

För ett 20-tal år sedan väcktes stark kritik mot flytspackel p g a dess organiska tillsatsmedel (bl a kasein) som gav upphov till olika typer av emissionsproblem. Denna typ av tillsatsmedel togs senare bort varefter användningen av avjämningsmassan åter har börjat öka. Avjämningsmassans pH-reducerande effekt är något som fått allt större genomslagskraft i branschen och kan komma att öka användandet i än större omfattning. /13/

4.7.3 Inverkan på betongens uttorkning

Det vanligaste är att avjämningsmassan appliceras när tak och väggar är uppförda, vilket innebär att betongen till viss del är uttorkad. I detta fall påverkas betongen extra mycket av den genom avjämningsmassan tillförda fukten. Om däremot avjämningsmassan appliceras i ett tidigt skede, alltså på en blöt betong, påverkas betongens fukttinnehåll mindre. Portlandcementbaserade avjämningsmassor innehåller mest överskottsvatten medan detta för aluminatcementbaserade är något lägre. Anledningen till skillnaderna mellan bindemedlena är att aluminatcementet binder vatten snabbare och i större mängd än portlandcementet. Ju snabbare avjämningsmassans bindemedel binder vattnet, desto mindre vatten hinner sugas in i betongen.

Innan avjämningsmassan appliceras bstryks betongen med en vattenhaltig primer. Detta ökar vidhäftningen och minskar insugningen av vatten från avjämningsmassan. Primern ger dock också ett visst fukttillskott till betongen.

Samtidigt påverkas uttorkningen negativt eftersom det totala motståndet mot fukttransport ökar när avjämningsmassan applicerats. Avjämningsmassans inverkan blir än större när konstruktionen torkar enkelsidigt.

Det exakta utseendet hos fuktprofilen efter det att avjämningsmassa har applicerats är svårt att beräkna eftersom fukttransportdata för fritt vatten i betong är dåligt kända. Det principiella utseendet hos fuktprofilen framgår dock av fig. 4.12 nedan.

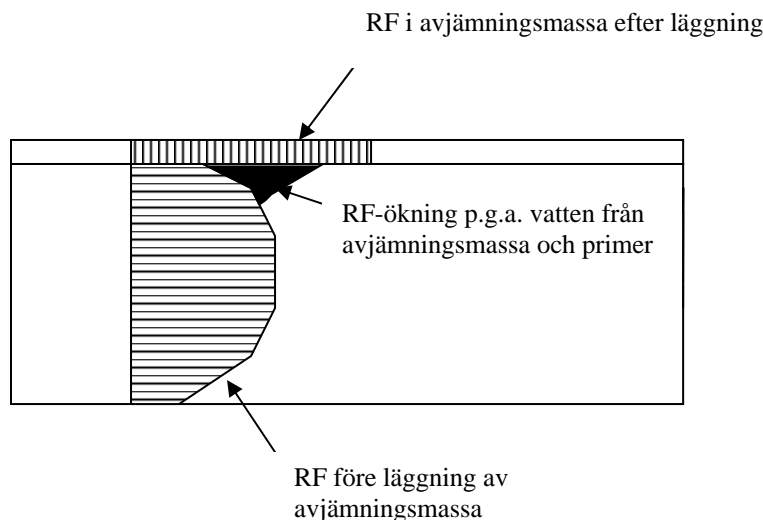


Fig. 4.12: RF-profilen i en betong efter att avjämningsmassa har applicerats, principiellt

5. Fuktmätning i betong

5.1 Allmänt

Fukttillståndet i betong kan mätas och uttryckas på en rad olika sätt. Det vanligaste förfarandet är att mäta den relativa fuktigheten (RF) hos luften i porsystemet. En fördel med detta uttryckssätt är att flertalet beständighetsproblem är kopplade till den relativa fuktigheten. Metoden kan endast användas i det hygroskopiska området, men det är detta område som är av störst intresse i samband med olika fuktproblem, t ex emissioner från golvmaterial.

5.2 Mätmetoder

Mätning av relativ fuktighet med lösa givare kan ske på två principiellt olika sätt:

- i hål, t ex ingjutna eller inborrade rör
- på uttaget prov

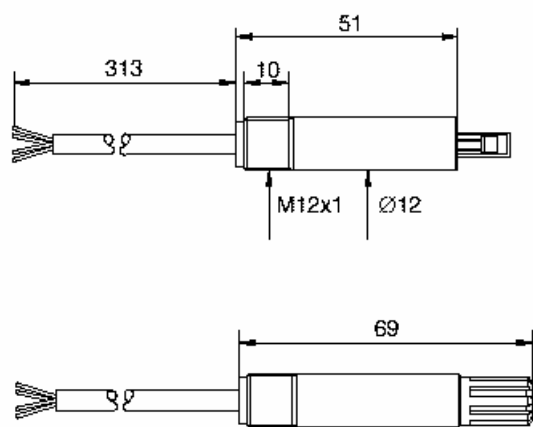
Eftersom metoden med uttaget prov kräver att relativt stora prov tas ut är den med de givna förutsättningarna olämplig att använda. Följaktligen har för mätningarna i denna studie istället hålmetoden valts, vilken beskrivs mer utförligt i 5.3 nedan.

5.3 Hålmätning med Vaisala-givare

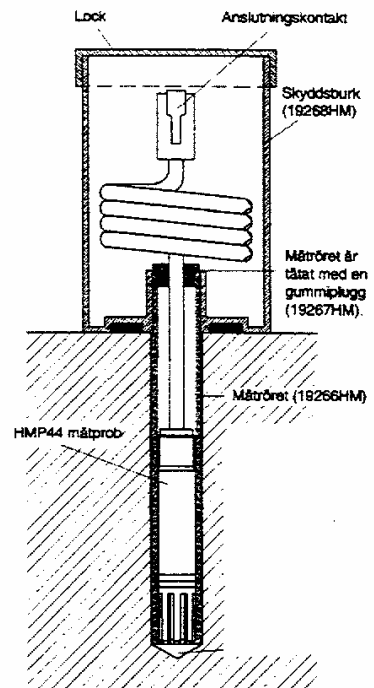
RF-mätningarna i studierna görs huvudsakligen enligt fastställda rutiner i RBK:s fuktmättningsmanual /11/ vars innehåll sammanfattas i punkterna nedan. Utöver detta tillkommer för mätrörets montering en speciell metod som är utvecklad vid LTH, se 5.3.2. För betong med $v_{ct} < 0,4$ finns vissa undantag och kompletteringar som också beskrivs i /11/, se 5.3.5.

5.3.1 Givare

I studien används kapacitiva givare av typen Vaisala, se fig. 13. RF-sensorn består av ett hygroskopiskt material vars kapacitans ökar kraftigt med ökat fukttinnehåll. Givaren är kopplad till ett avläsningsinstrument där RF och temperatur kan avläsas. Innan mätningarna påbörjas kalibreras givare och avläsningsinstrument i intervallet 75-95% RF för temperaturerna +20 °C och +5 °C, se vidare 6.4.



a)



b)

Fig. 5.1: a) Givare Vaisala HMP44, dimensioner i mm /15/

b) Mätutrustning vid RF-mätning i fält /11/. Vid laboratorieundersökningar används inte skyddsburken.

5.3.2 Montering av mätrör

Vid RF-mätningarna används en speciell metod utvecklad vid LTH, se fig. 5.2. Genom formgodset borrar ett hål i vilket mätröret förs in. Randen mellan hål och rör tätas noggrant med en tätmassa, detta för att undvika luftläckage som stör RF-mätningen. En bult placeras i mätröret och fixeras med en plastmutter på insidan. På den utskjutande delen av bulten har gängorna svarvats bort, detta för att erhålla en slät yta mot betongen. Formen fylls med betong och när denna har härdat tillräckligt avlägsnas bulten.

Genom denna metod blir betongens avdunstande yta större än vid en vanlig RF-mätning.

Innan RF-givaren monteras är det viktigt att mät hålet rengörs omsorgsfullt eftersom betongdamm kan störa RF-mätningen och ge otillförlitligt resultat.

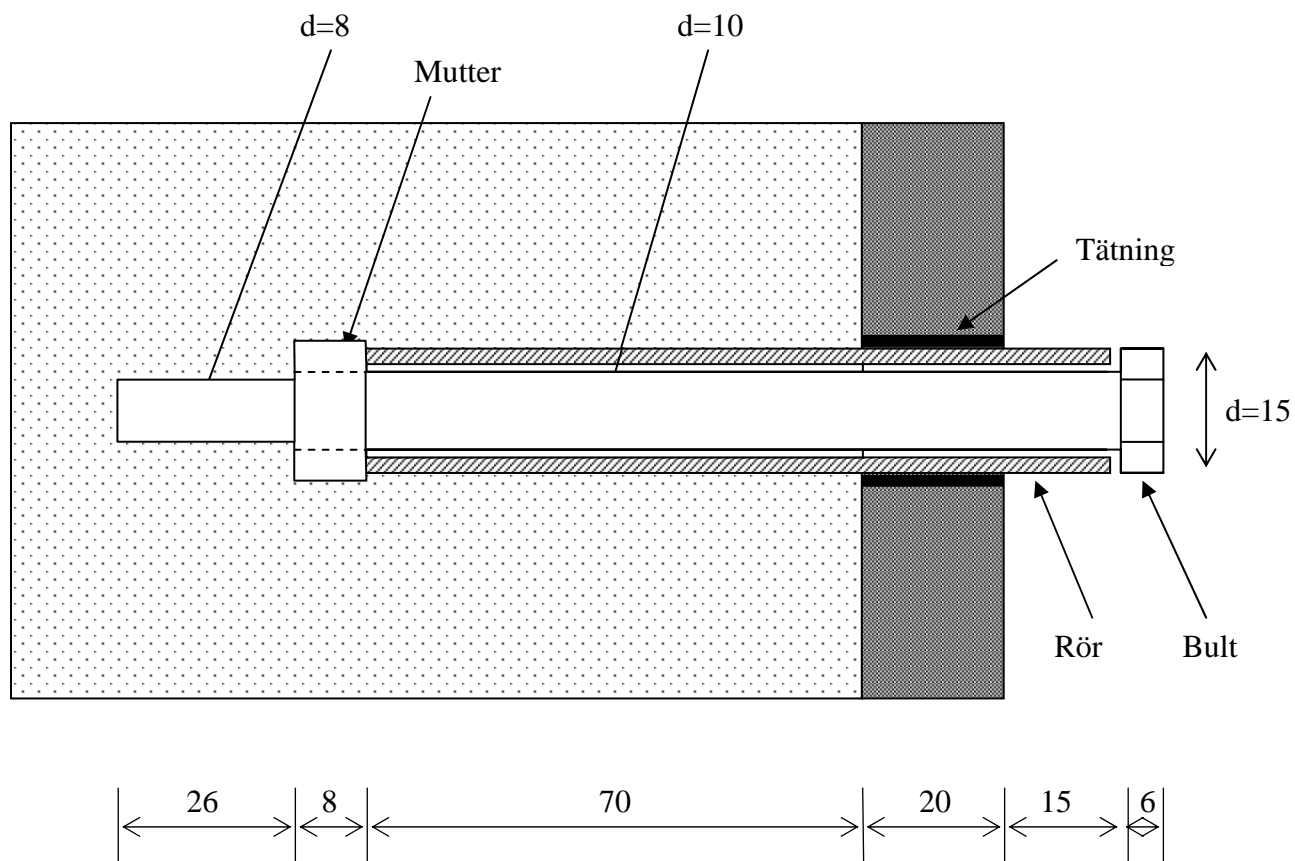


Fig. 5.2: Principiell skiss över mätrörets montering

5.3.3 Montering av givare

Givaren monteras en knapp vecka efter gjutningen. I samband med detta kontrolleras att randen mellan mätröret och formen fortfarande är tät. Det är också viktigt att själva givarmonteringen görs varsamt så att tätheten inte försämras i samband med detta. Dessutom måste givaren när den monteras ha samma temperatur som betongen; störst blir felet om givaren är kallare än betongen. Risken är att det då på givaren utfälls kondens som kan ta lång tid att torka ut vilket medför ett felaktigt värde på den uppmätta relativa fuktigheten. I /11/ anges att kondens på givaren kan erhållas redan vid en undertemperatur på $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hos givaren om betongens RF överstiger 90%. När givaren har högre temperatur än betongen blir felet inte lika stort, men detta bör ändå undvikas eftersom man då underskattar den relativa fuktigheten och hamnar på osäkra sidan.

5.3.4 Avläsning

I /11/ anges att det innan avläsning måste ha förflutit minst 12 timmar sedan givaren monterats. Att givaren måste monteras en tid innan avläsningen beror dels på att det sker en luftväxling i röret när givaren monteras, dels på att det tar tid för givarens sensor att komma i fuktjämvikt med betongen. Givaren avlägsnas efter avslutad avläsning. Det är också viktigt att givaren har samma temperatur som betongen, annars kan ett otillförlitligt resultat erhållas. /11/

5.3.5 Betongkvaliteter med lågt vct

Betonger med låga vct har större täthet och lägre fuktkapacitet än de traditionella betongkvaliteterna som används vid husbyggen. Även om detta är en fördel i många avseenden så ökar dock risken för mätfel vid RF-mätningar. Ytterligare faktorer som kan orsaka mätfel i dessa betonger är temperaturvariationer, otillräcklig mättid, läckage i mätpunkter och otillräcklig avdunstningsyta mot sensorn. /11/

För betongkvaliteter med $vct < 0,4$ anges i /11/ att mätningar i ett och samma mätthål måste ske med minst en veckas mellanrum. Detta beror på att givaren förbrukar fukt som finns i mätthålet och för ett tillförlitligt resultat måste fuktnivån ha viss tid att återställa sig. Ett ytterligare krav utöver de ovan angivna mätrutinerna är att 48 timmar måste passera mellan givarmontage och avläsning, detta eftersom den högre tätheten i betongen medför längre tid för att uppnå jämvikt.

6. Uttorkningsförsök

6.1 Försöksupplägg

Vid försöken testades fem olika betongkvaliteter med vct 0,35, 0,40, 0,45, 0,55 och 0,70. Cementen som används är Slite Std byggcement och betongrecepten efterliknar de som används vid konventionell fabriksbetongtillverkning. Betongen som användes hade konsistensen "halvflyt", vilket innebär att det endast krävs en lätt vibrering av betongen för att få den att flyta ut och fylla igen eventuella luftfickor. Densiteten och lufthalten mättes för varje betongblandning.

Efter gjutning placerades provkropparna i klimatrum med möjlighet att styra temperatur och RF. Under den första månaden efter gjutningen förvarades provkropparna i +5°C, 80% RF, för att därefter placeras i +20°C, 60% RF. Anledningen till detta förfarande är att efterlikna ett verkligt bygge under en normalvinter. Den första klimatet antas motsvara förhållandena under tiden från gjutning till dess att betongen härdat till normenlig hållfasthet. Efter ca en månads härdning har tak och väggar uppförts, varpå en uppvärmning och styrd torkning sker i byggnaden.

För att ytterligare efterlikna verkliga förhållanden var temperaturen hos betongen ca +10°C vid gjutningen. Detta erhöles genom att förvara ballasten i +5°C i ca 1 vecka före gjutning.

6.1.1 Regnsimulering

Under regnsimuleringen utsattes provkropparna för fritt vatten, med fyra olika varaktigheter: 1, 2, 4 respektive 7 dygn. För varje vct göts en provkropp för varje varaktighet samt ett icke regnbelastat referensprov, d v s totalt göts 25 st provkroppar. För att hålla vattnet kvar på betongytan användes till regnsimuleringen plåtrör med något mindre diameter än provkroppen, vilka delvis göts in i betongens överyta i samband med gjutningen, se fig. 6.5. Vattnet fylldes på i plåtrören ca 30 min efter gjutning.

6.1.2 Applicering av avjämningsmassa

För varje vct utfördes beläggning med avjämningsmassa vid tidpunkten 1 respektive 2 månader efter gjutning. Dessutom göts för varje vct en referens, d v s totalt krävdes 15 st provkroppar till försöken med avjämningsmassa.

6.2 Gjutning av provkroppar

6.2.1 Gjutformar

Betongen göts i tjocka plåtrör, se fig. 6.1, med tät botten som satt kvar under hela mätperioden, detta för att erhålla en ensidig uttorkning, vilket efterliknar en betongplatta som gjuts direkt på marken. Gjutformens bottenplatta bestod av en plywood belagd med en plastfolie mot betongen. Bottenplattan skruvades fast i röret. Silikon användes för att täta eventuella mellanrum mellan röret och plastfolien.

Röret som användes är av mycket hög kvalitet och brukar användas i industriella sammanhang där det är viktigt att rörgodset är helt tätt. Röret är tillverkade av polypropen och har en ytterdiameter på 310 mm, 20 mm godstjocklek och höjd 120 mm.

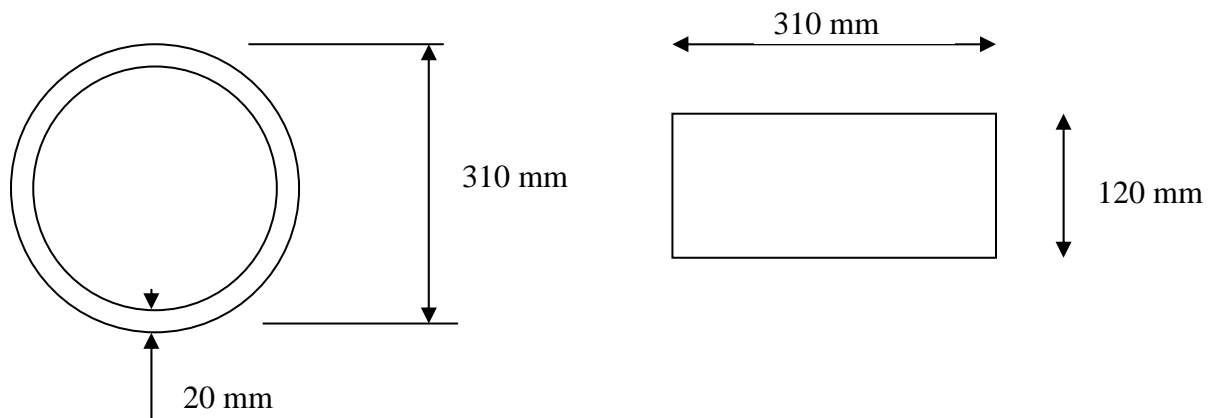


Fig. 6.1: Ritning över polypropenröret

I röret borrades två mätthål för RF-givarna, se fig. 6.2. Dessa var placerade på djupen 15 mm och 48 mm (0,4H) från överkanten. Mätthålen försköts 100 mm i horisontalled för att förhindra att givarna stör varandra. I mätthålen monterades rör som senare göts in i betongen. Rörens inlopp tätades med silikon. För att undvika att röret fylls med betong under gjutningen placerades bultar i hålet, som sedan togs bort när betongen hade härdat. Provkropparna såg likadana ut för båda försöken.

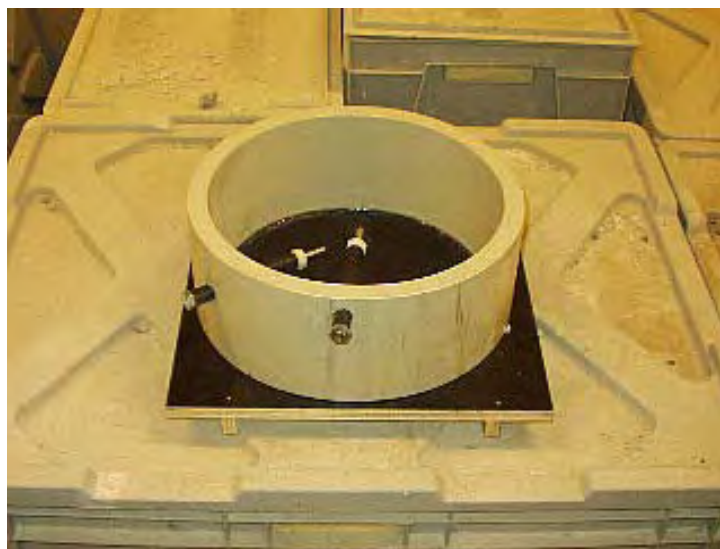


Fig. 6.2: Gjutform med monterade mätrör och bultar

6.2.2 Betongrecept

Betongrecept, se tab. 6.1 nedan, erhöjls från NCC Ballast, och justerades sedan till de vct som används i studien.

Tab. 6.1: Betongrecept

vct	0,35	0,40	0,45	0,55	0,70
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Cement	500	435	400	340	260
Vatten	175	174	180	185	182
Grus 0-8	853	882	889	908	972
Sten 8-12	426	441	444	454	486
Sten 12-16	426	441	444	454	486
Flytmedel 92 M	7,1	5,4	5,0	3,4	2,6

6.2.3 Gjutning

Vid varje gjuttillfälle tillverkades 90 liter betong, av vilket 8 provkroppar göts. För att få rätt mängd med ballast, cement och vatten vägdes materialen på en våg med en felmarginal på 0.1 g innan de lades i betongblandaren. I betongblandaren, se fig. 6.3, tillsattes först de torra materialen och blandades ca 2 min, varefter vattnet tillsattes och betongen blandades ytterligare 5 min. Flytmedel i doseringen 1% av cementvikten, blandades i vattnet från början, men till betongkvaliteterna med låga vct fick tillsättas ytterligare flytmedel tills dess att betongen hade fått konsistensen halvflyt.

När betongen var färdigblandad fylldes den upp till kanten av röret och vibrerades på ett vibreringsbord. Betongytan jämnades ut med hjälp av en bräda som tryckt mot rörets ovandel fördes över ytan. De provkroppar som skulle användas till regnförsöken försågs med plåtrör, som delvis göts in i betongen, se fig. 6.4. Omedelbart efter det att betongytan jämnats till fördes plåtrören ner ca 5 mm ner i betongen. Därefter vibrerades betongen ytterligare ett par sekunder för betongen skulle sluta tätt kring plåtröret.



Fig. 6.3: Betongblandaren, av typen tvångsblandare, som användes vid tillverkningen av betongen.



Fig. 6.4: Provkoppar för regnsimulering, direkt efter gjutning.

6.3 Hantering av gjutna provkroppar

6.3.1 Regnförsök

Ca 30 min efter färdig gjutning fylldes vatten på i röret, se fig.6.5, och provkropparna placerades i klimatet +5°C, 80% RF. När betongen härdat avlägsnades bultarna och RF-givarna monterades i rören. För att erhålla erforderlig täthet användes en för givarna specialtillverkad packning.

Referensprovets överyta täcktes med en dubbel plastfolie direkt efter gjutning, s k membranhärdning. För att tätta ytterligare tejpades en kraftig tejp runt röret. Plastfolien hindrar ytan att torka innan betongen fått tillräcklig hållfasthet för att stå emot krympsprickor. Efter ett dygn avlägsnades membranet, varvid betongen tilläts torka ut i det aktuella klimatet.

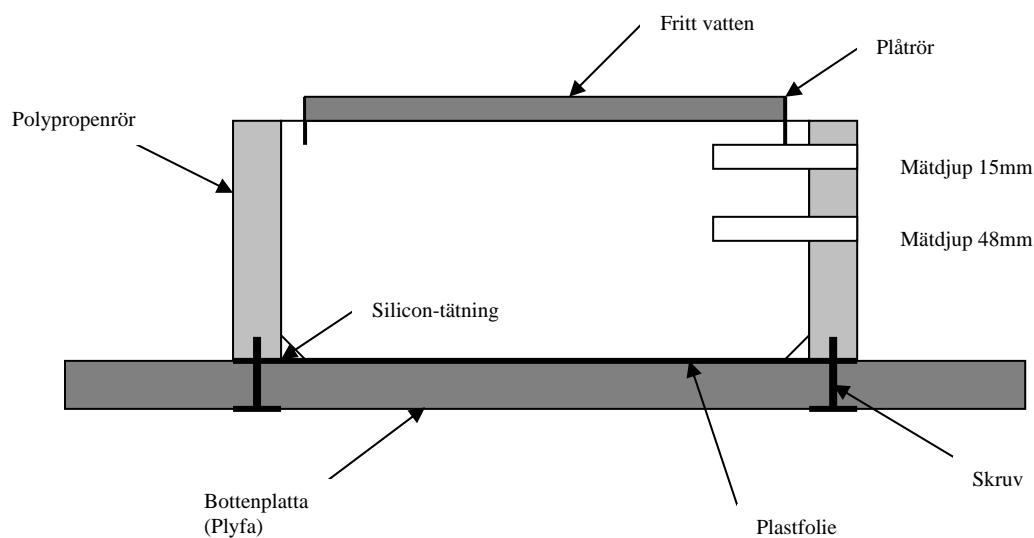


Fig. 6.5: Beskrivning av provkroppar till regnsimulering

6.3.2 Försök med avjämningsmassa

Samtliga provkroppar till försöket med avjämningsmassa membranhärdades under de första två veckorna efter gjutning, se fig. 6.6. Klimatet de placerades i var detsamma som för regnproverna, d v s +5°C, 80% RF.

Efter 1 respektive 2 månader försågs 10 av provkropparna med avjämningsmassa. Resterande 5 provkroppar användes som referens. Tjockleken på lagret var 1 cm och detta applicerades med hjälp av ytterligare ett polypropenrör av samma dimension. Detta rör tejpades fast mot ovansidan av provkroppen och fungerade som en gjutform för avjämningsmassan, se fig. 6.7. På insidan av röret applicerades en silikonsträng för att tätta ytterligare.

Avjämningsmassan som användes var Optiroc finavjämning ABS 148, i vilken cement och tillsatser är färdigblandade, varvid endast vatten behöver tillsättas. Cementet är en blandning av portlandcement och aluminatcement. Blandningen gjordes i en Hobart-blandare efter normenlig rutin.

Ca 4 timmar innan provkropparna belades med avjämningsmassa ströks Primer MD16 på betongytan för att öka vidhäftningen.



Fig. 6.6: Provkroppar under membranhärdning

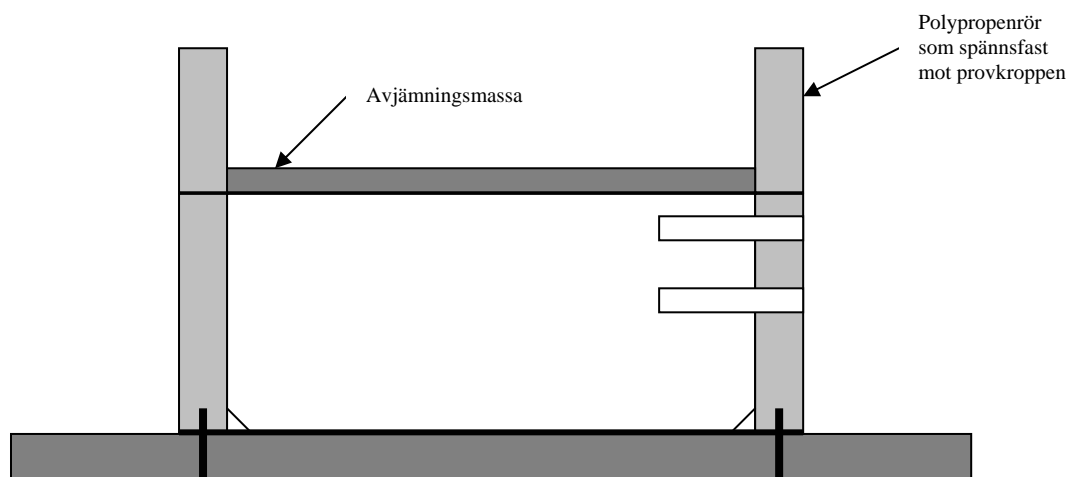


Fig. 6.7: Polypropenrör användes som gjutform för avjämningsmassan

6.4 Fuktmätning

6.4.1 Kalibrering av givare

För att säkerställa att mätningarna ger ett tillförlitligt och relevant resultat gjordes en kalibrering av samtliga givare innan mätningarna påbörjades. Kalibreringen gjordes i en precisionsfuktkammare vid avd Byggnadsmaterial, LTH, vilket ger ett mycket noggrant resultat. Avläsningen vid kalibreringen gjordes vid följande temperaturer och RF:

+20°C : RF = 75 85 90 95 %
 +5°C : RF = 75 85 90 92 %

Dessa avläsningar kunde sedan för varje givare plottas i ett diagram med principiellt utseende enl. fig. 6.8 nedan. Kalibreringen följde absorptionsisotermen, d v s RF i fuktammaren ökades successivt. Teoretiskt sett föreligger det en hysteresiseffekt hos givarna, men på grund av de hygroskopiska materialets ringa vikt samt den relativt långa tidsperioden mellan RF-ändringarna så har denna ingen praktiskt betydelse. Detta styrks dessutom av jämförelser mellan absorptions- och desorptionskurvor från tidigare kalibreringar utförda vid LTH.

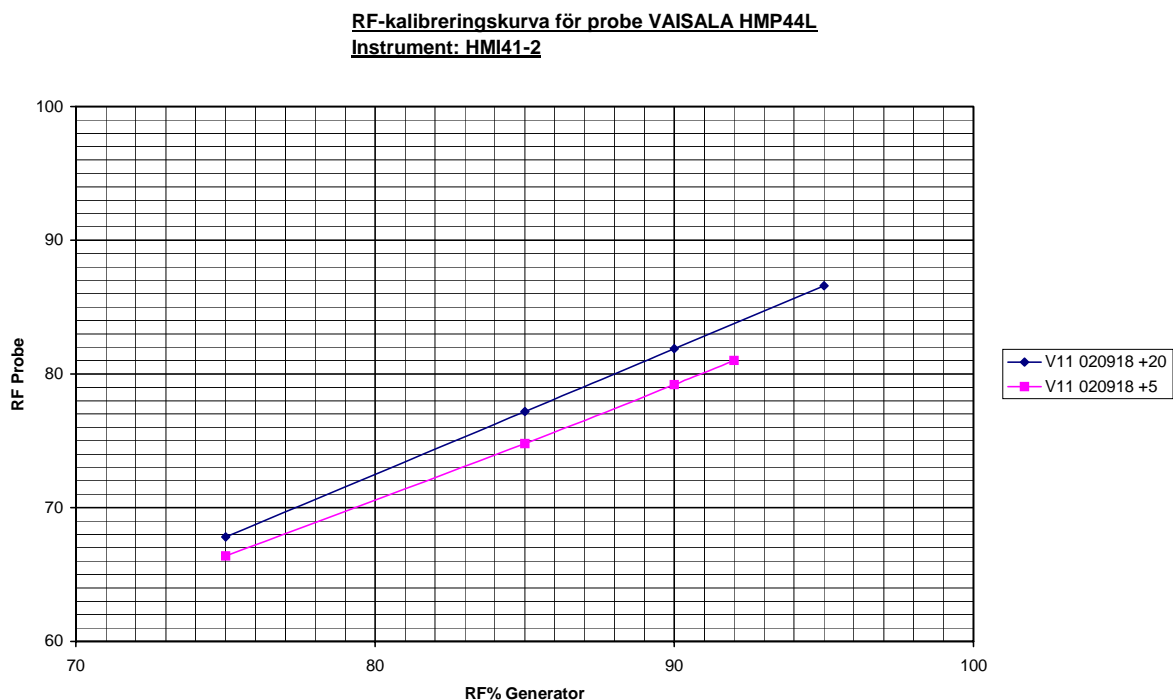


Fig. 6.8: Exempel på kalibreringsdiagram för RF-givare vid två olika temperaturer

Att kurvan vid temperaturen +5°C bara går till 92% RF beror på att fuktammaren inte klarar av högre RF vid så låga temperaturer.

I de fall mätpunkter har hamnat utanför kurvornas intervall har en linjär extrapolation fått göras. Noggrannheten är dock tillräckligt stor eftersom Vaisala-givares kalibreringskurvor är i det närmaste linjära oavsett RF-nivå.

6.4.2 Montering av givare

Montering av givare gjordes 24 timmar innan avläsning vid mätning i provkroppar av de två lägre kvaliteterna (vct 0,55 och 0,70) och 48 timmar innan för de tre högre kvaliteterna (vct 0,35-0,45). Detta förfarande beror på att givaren vid mätning i högre betongkvaliteter behöver längre tid för att komma i jämvikt med sin omgivning, se även 5.3.5.

6.4.3 Mätintervall

Mätningarna utfördes under oktober 2002-januari 2003, och följde huvudsakligen ett mät-schema som upprättats innan försöken startades. Under de fyra första veckorna efter gjutning gjordes mätningarna varje vecka, för att därefter reduceras till varannan vecka. Undantag gjordes dock för provkropparna på vilka avjämningsmassa applicerades efter en månad.

För dessa gjordes mätningar enligt tidigare intervall under ytterligare fyra veckor. Även för de provkroppar där avjämning skedde efter två månader mättes med en veckas intervall under de fyra efterföljande veckorna. I samband med avjämning mättes RF omedelbart innan massan applicerades, varpå givaren fick sitta kvar och ett nytt mätvärde avlästes ett dygn efter avjämningen, detta för att kunna studera en eventuell momentan RF-ökning.

Eftersom antalet givare som användes vid mätningarna var begränsat fick det under ett fåtal tillfällen göras vissa avsteg från mätschemat och ovan beskrivna intervall. Av praktiska skäl gjordes också ett tre veckors uppehåll i mätningarna under slutet av december till början av januari.

6.4.4 Temperaturens inverkan på avläst RF

Vid RF-mätning i betong kommer det avlästa värdet att bero av temperaturen. Detta är en följd av att betongens sorptionsisotermer har ett temperaturberoende med principiellt utseende enl. fig. 6.9 a). Vid två avläsningar av samma provkropp men i olika temperaturer medför detta fenomen att man erhåller en lägre RF vid den lägre temperaturen, förutsatt att det totala fukttinnehållet i betongen är oförändrat. Med hjälp av fig. 6.9 b) nedan kan värdena omräknas till det RF som skulle ha uppmätts i temperaturen +20°C.

Med RF avses fortsättningsvis, där inget annat anges, den verkliga RF i provkroppen, uppmätt vid de aktuella temperaturerna (+5°C respektive +20°C). I tabeller i Appendix C återges som en jämförelse en omräkning till vilka RF som hade uppmätts om temperaturen varit +20°C under hela mätperioden.

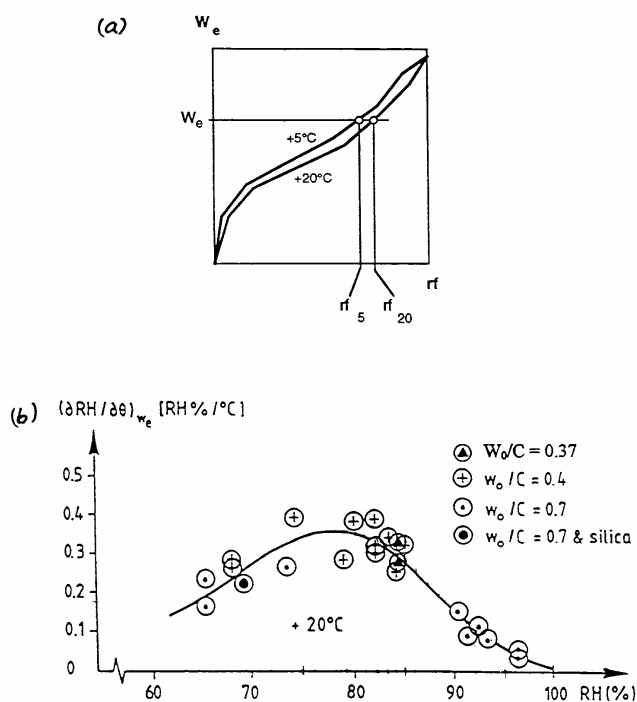


Fig. 6.9: Inverkan av temperaturskillnader mellan mätning och konstruktion på uppmätt RF. a) Principiell inverkan. b) Korrektionsdiagram för RF i betongkonstruktionen /3/

7. Resultat och utvärdering av uttorkningsförsök

7.1 Allmänt

Resultaten från uttorkningsförsöken kan sägas stämma väl överens med tidigare liknande försök som gjorts och de teorier som finns inom ämnet. De faktorer som stärker mätningarnas giltighet är framförallt:

- Högre RF-värden på det större mätdjupet än det mindre mätdjupet
- RF-värdena minskar med tiden
- Lägre vct ger kortare uttorkningstider
- Yttre påverkan som regn och avjämningsmassa ger högre fuktillstånd

7.2 Inverkan av vct på betongens uttorkning

Det framgår tydligt av mätresultaten att låga vct ger en snabbare uttorkning oavsett yttre faktorer, som i detta fall är klimatvariationer, regn och beläggning med avjämningsmassa. Fig. 7.1 och 7.2 nedan, som avser icke regnbelastade referensprover, visar att lutningen på uttorkningskurvorna för de olika vattencementtalen skiljer sig mest under de första 15-20 dyggen. Därefter går kurvorna mer eller mindre parallellt med varandra. Detta beteende hos kurvorna återspeglar den självuttorkning som sker och som är av störst betydelse hos betonger med låga vct.

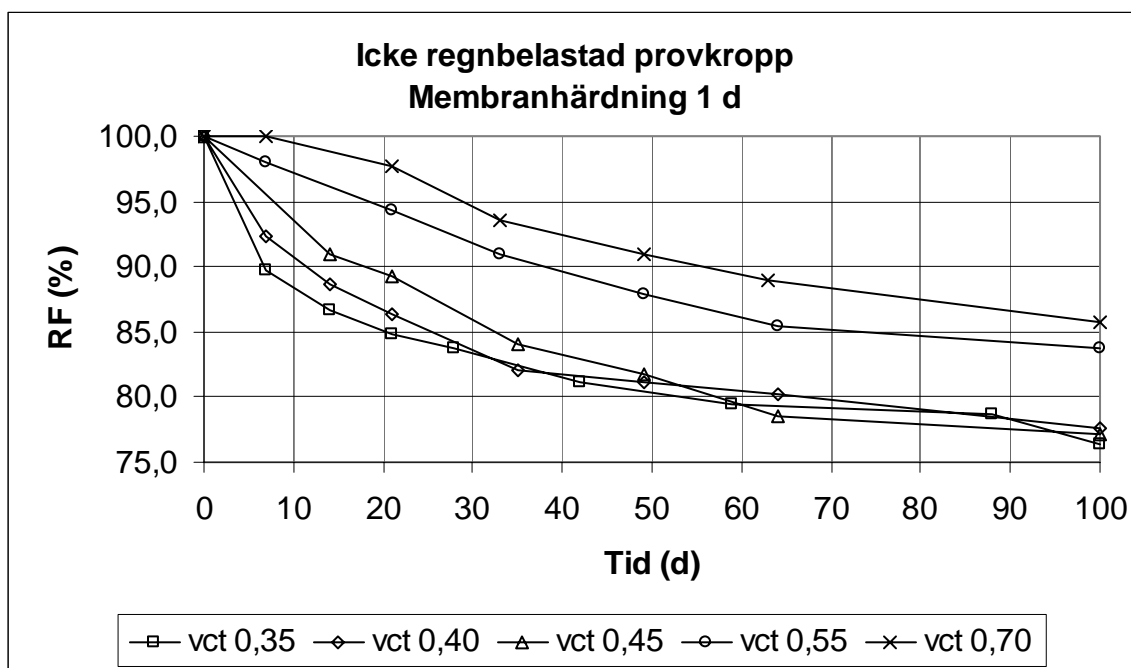


Fig. 7.1: Sammanställning av olika betongkvaliteters uttorkningsförlopp hos icke regnbelastade referensprover. Provkropparna har membranhärdats i 1 dygn. Mätdjup 48 mm

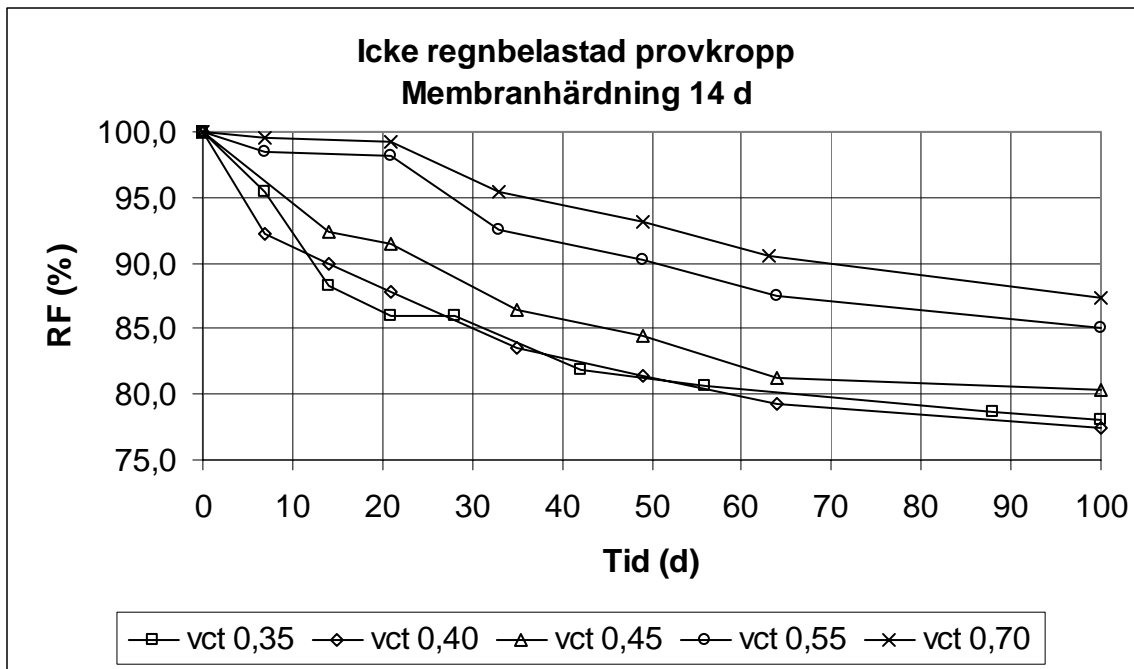


Fig. 7.2: Sammanställning av olika betongkvaliteters uttorkningsförlopp hos icke regnbelastade referensprover. Provkropparna har membranhärdats i 2 veckor. Mättdjup 48 mm

Efter ca 100 dygns uttorkning kan man urskilja att betonger med högre vct torkar något fortare än de med lägre vct. Det beror förmodligen på att betonger med låga vct är tätare vilket ger en minskad fukttransportkoefficient. Därför är det svårare för vattnet att diffundera ut genom betongen. Dessutom är RF lägre vilket ger en lägre fuktpotential och därmed också mindre diffusion.

7.3 Inverkan av regn på betongens uttorkning

De inledande hypoteserna inför denna studie var:

- betongens uttorkningstid är starkt beroende av varaktigheten på regn direkt efter gjutning
- denna effekt är särskilt påtaglig för höga vct
- mekanismen bakom den förlängda uttorkningstiden är att regnvatten suges in, i de porer som skapats av självtuttorkningen, innan betongen har blivit tillräckligt tät. När sedan betongen tätat tar det längre tid för fukten att torka ut p g a den minskande transportkoefficienten

I stort kan konstateras att resultatet av mätningarna styrker de två första hypoteserna relativt väl men talar emot hypotes c).

I utvärderingen nedan har utgått från tiden för uttorkning till 85% RF på ekvivalent djup eftersom detta är en kritisk RF för många typer av golvbeläggningar. För tydlighetens skull har därför y-axeln kapats vid 85% RF i denna framställning. De fullständiga uttorkningsförloppen återfinns i Appendix C. Diagrammen i fig. 7.3-7.7 avser uppmätt RF på ekvivalent djup (0,4H).

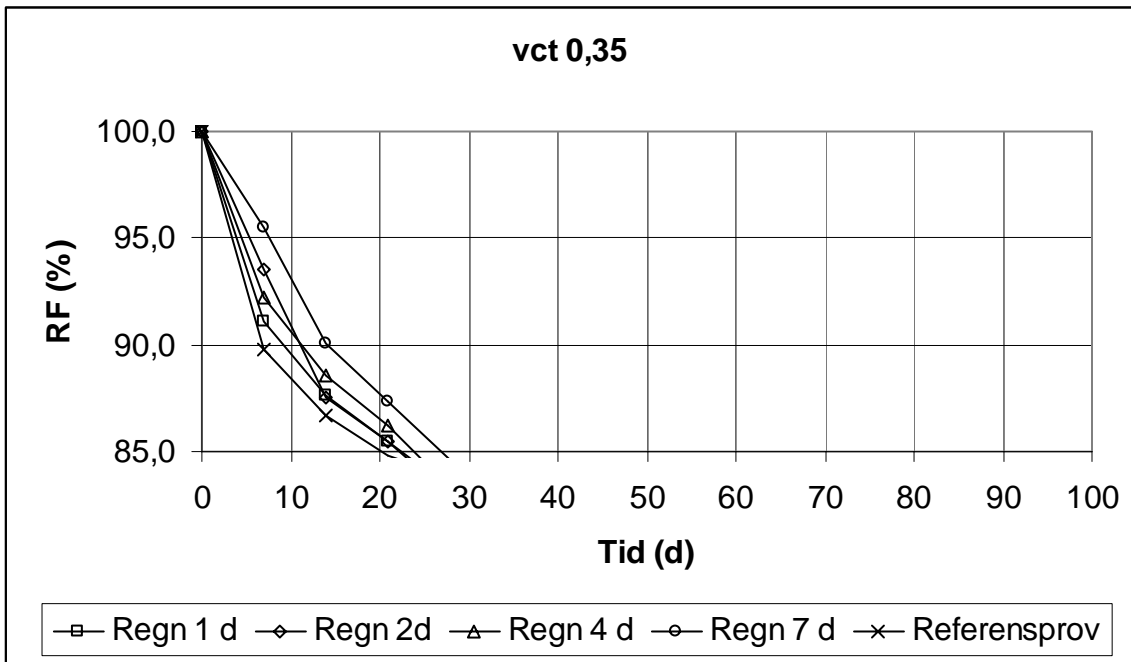


Fig. 7.3: Uttorkningsförlopp till 85% RF på mätdjup 0,4H. vct=0,35

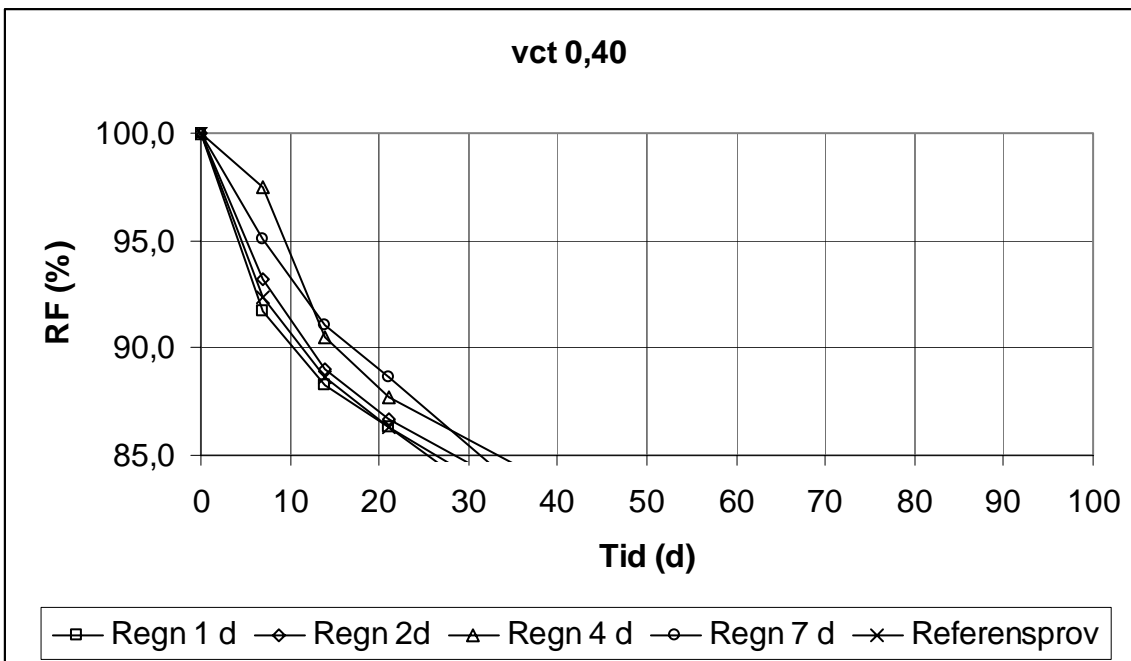


Fig. 7.4: Uttorkningsförlopp till 85% RF på mätdjup 0,4H. vct=0,40

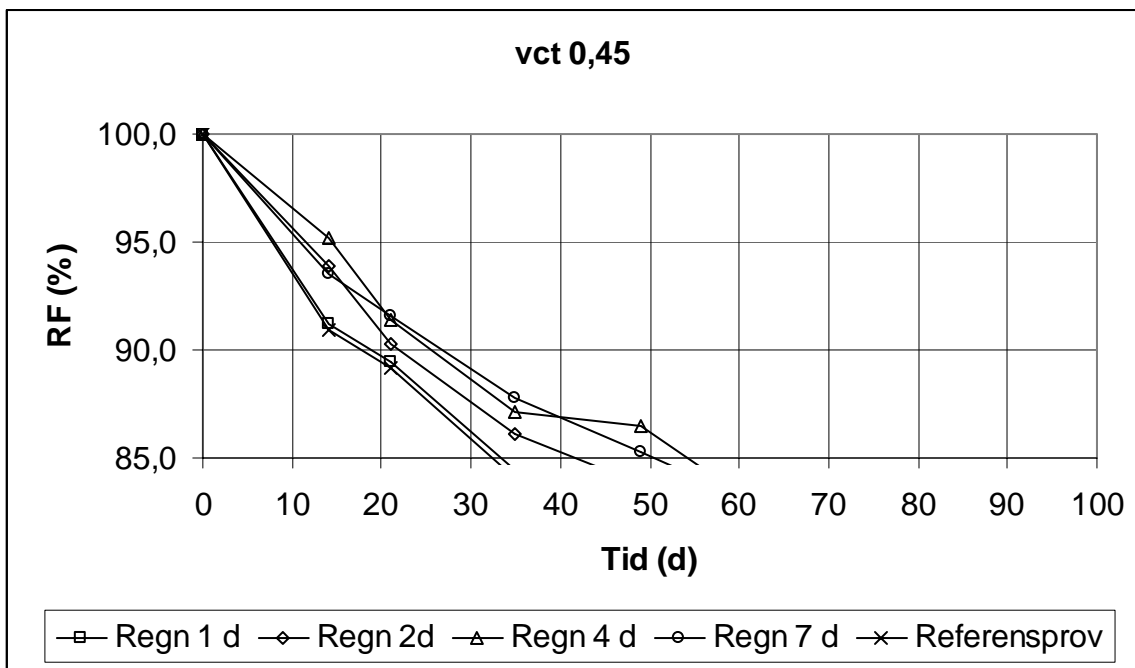


Fig. 7.5: Uttorkningsförlopp till 85% RF på mätdjup 0,4H. vct=0,45

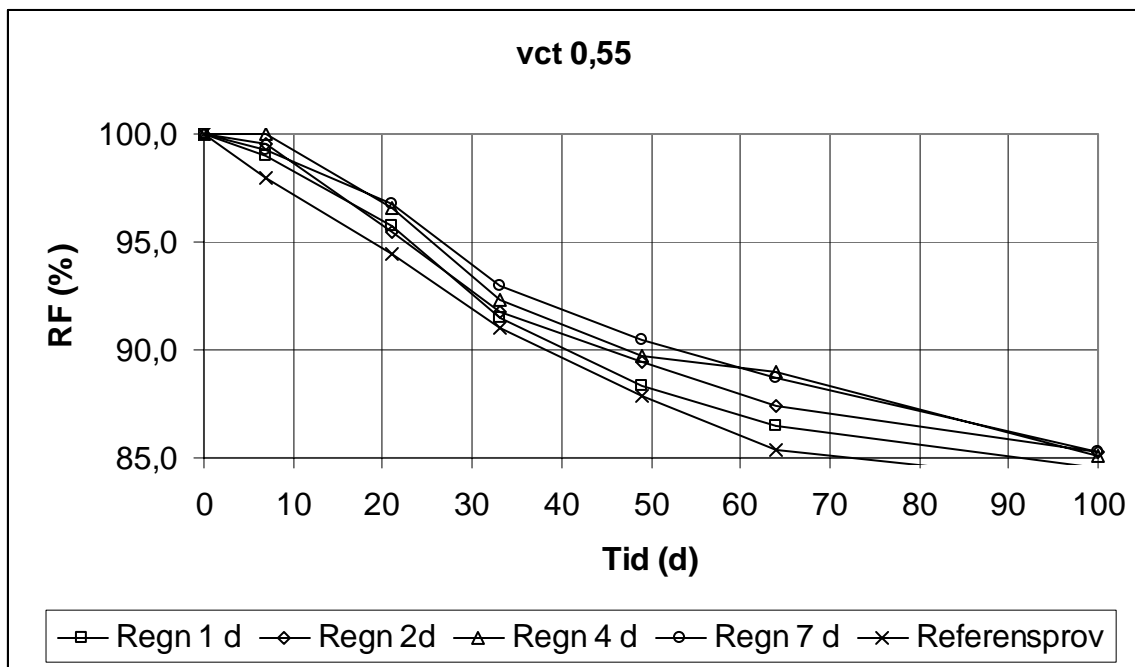


Fig. 7.6: Uttorkningsförlopp till 85% RF på mätdjup 0,4H. vct=0,55

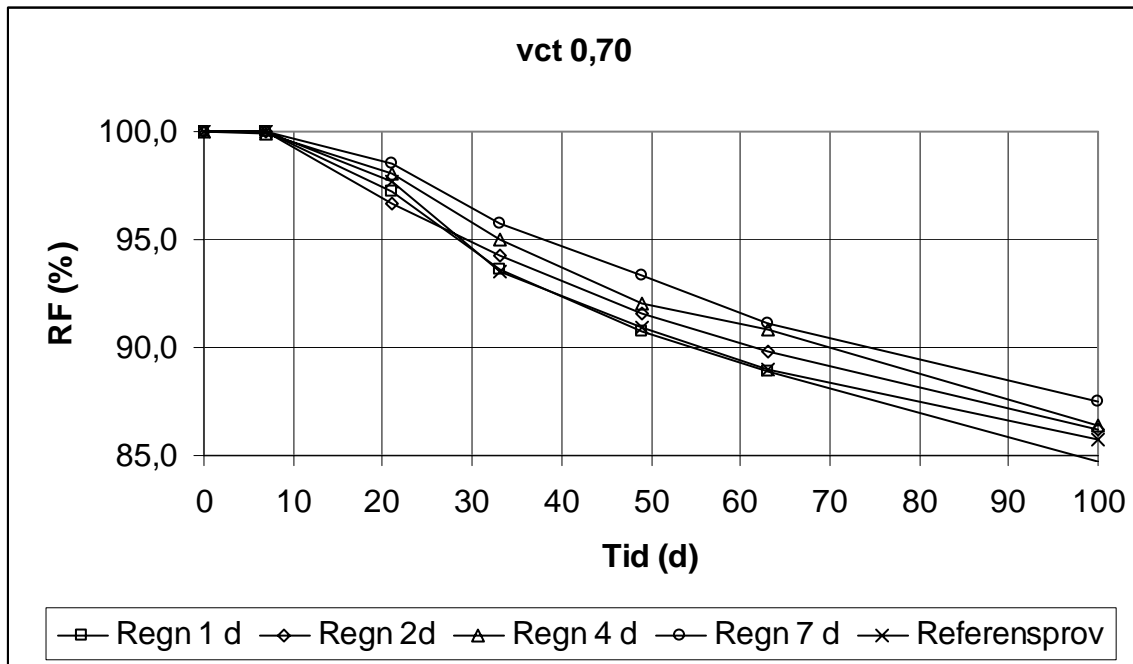


Fig. 7.7: Uttorkningsförlopp till 85% RF på mätdjup 0,4H. vct=0,70

En jämförelse mellan diagrammen visar att vid ökat vct ökar också skillnaden mellan de olika kurvornas skärning med 85% RF kraftigt. För de två högre kvaliteterna (vct=0,35 och 0,40) är effekten endast marginell och kurvorna visar också att uttorkningstiden inte förlängs nämnvärt när vct ökar från 0,35 till 0,40. Först vid 0,45 sker en övergång till ett annorlunda principiellt beteende hos kurvorna. Uttorkningstiden för vct 0,45 är inte särskilt mycket längre än de två högre kvaliteterna när ingen regnbelastning förekommer, men redan vid 2 å 4 dagars regn förlängs uttorkningstiden kraftigt. Uttorkningstiden ökar också kraftigt med ökande varaktighet på regnbelastningen.

En annan principiell skillnad mellan betonger med låga och höga vct är kurvornas lutning vid skärningen med 85% RF. För de högre kvaliteterna fortskrider uttorkningen allttjämt snabbt medan kurvorna för vct 0,55 och 0,70 blir allt flackare, d v s uttorkningen går allt långsammare. För vct 0,70 har dessutom inte alla provkroppar hunnit torra till 85% RF varför uttorkningstiderna, se fig. 7.9 nedan, har uppskattats genom extrapolation av kurvorna. Att kurvorna är i det närmaste horisontella vid 85% RF för betonger med lågt vct ger en stor osäkerhet vid uppskattning av uttorkningstiden. De i mätningarna använda RF-givarna har en teoretisk felmarginal på 1 å 1,5 %-enheter, och detta kan för uttorkningstiderna ge ett fel av storleken flera månader. Av denna anledning bör tiderna betraktas med stor försiktighet och ses snarare som en ungefärlig uppskattning än några absoluta fakta. Den väldefinierade tidpunkt då 85% RF nås i betong med lågt vct jämfört med den mycket osäkra tidpunkt då samma RF nås i betong med högt vct gör att betong med lågt vct ger ökad säkerhet mot fuktskador.

I fig. 7.8 återges även uttorkningstider till 90% RF; som en följd av kurvornas annorlunda utseende vid denna RF-nivå är dessa tider betydligt säkrare.

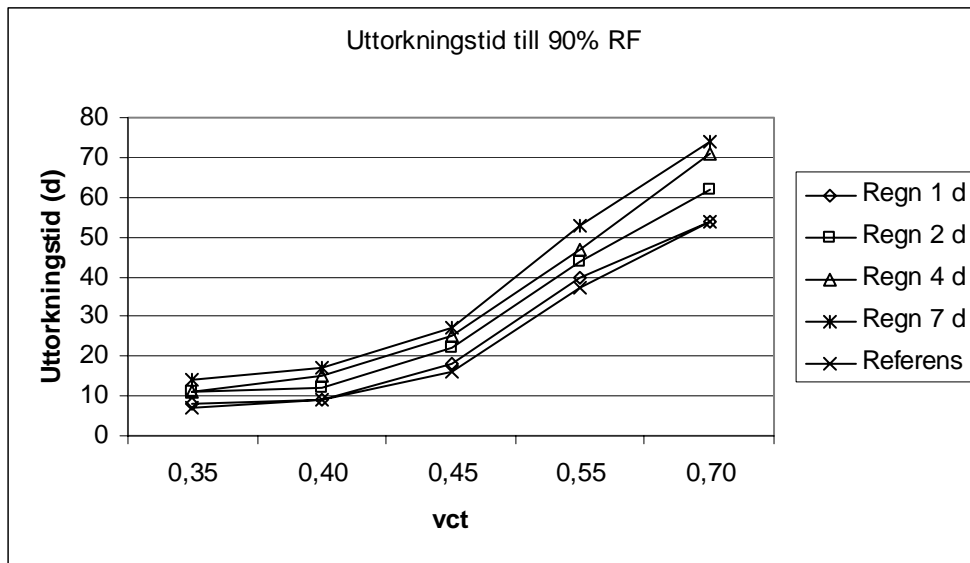


Fig. 7.8: Avläst uttorkningstid till 90% RF

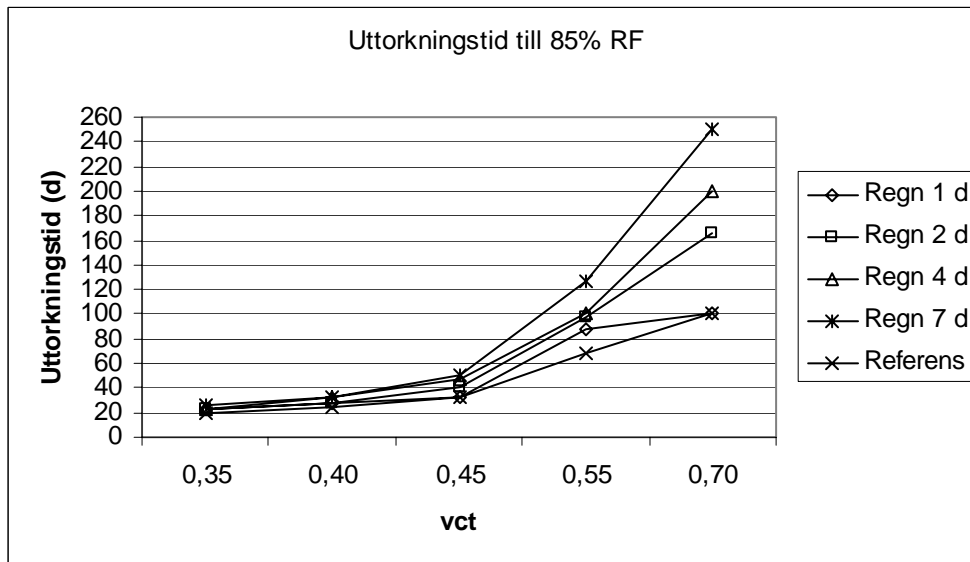


Fig. 7.9: Avläst uttorkningstid till 85% RF (värden för vct 0,70 är extrapolerade ur uttorkningskurvan)

De uppmätta kurvorna talar emot hypotesen c) ovan. I denna antogs att tillförsel av regnvatten skulle medföra att fukten skulle få svårare att torka ut sedan betongen tätat, särskilt för låga vct som blir täta snabbare. Kurvorna i fig. 7.3-7.7 visar att uttorkningshastigheten för provkroppar med vattenbelastning är lägre än för referensprovet så länge vattnet ligger kvar, men sedan detta avlägsnats är uttorkningshastigheten ungefär densamma som för referensprovet (samma lutning på kurvorna). Att uttorkningstiderna förlängs tycks därför snarast bero på att uttorkningen är förhindrad under den första tiden efter gjutning och uttorkningen startar därför från en initieellt högre nivå. För de två högre kvaliteterna är den förlängda uttorkningstiden, se tab. 7.1 och 7.2 nedan, nästan densamma som regnets varaktighet, vilket talar emot att någon nämnvärd vatteninsugning skulle ha skett.

Som tidigare nämnts, se 4.6.2, skulle denna maximalt kunna vara ca 5-9 l/m³ efter 1 dygns regn och 11-18 l/m³ efter 1 veckas regn. Tämligen litet regn kan således sugas in vilket förklarar resultatet.

Tab. 7.1: Förlängd uttorkningstid (d) till 90% RF

Antal regndagar:	vct= 0,35	0,40	0,45	0,55	0,70
1	1	0	2	3	0
2	4	3	6	7	8
4	4	6	9	10	17
7	7	8	11	16	20

Tab. 7.2: Förlängd uttorkningstid (d) till 85% RF

Antal regndagar:	vct= 0,35	0,40	0,45	0,55	0,70
1	2	2	1	20	0
2	3	3	8	30	65
4	3	7	15	32	100
7	6	7	19	59	150

Tabellerna ovan antyder dels ett klart samband mellan regnbelastning och förlängd uttorkningstid, dels att denna effekt ökar med ökat vct. Med denna bakgrund bör man med tillräckligt god säkerhet kunna bekräfta giltigheten i hypotes a) och b) ovan.

7.4 Inverkan av avjämningsmassa på betongens uttorkning

Sammanställningen av mätresultaten i fig. 7.10-7.19 nedan visar tydligt att när avjämningsmassan applicerats ökar uttorkningstiden markant. Den ökning av RF som sker på båda mätdjupen i samband med att avjämningsmassan läggs på tyder på att betongen suger åt sig vatten från avjämningsmassan. Betongen får därmed ett fuktillskott. Det faktum att RF ökar på båda mätdjupen stärker ytterligare hypotesen att ökningen beror på ett fuktillskott, eftersom det då inte kan förklaras med att en omfördelning av fukten har skett. Kurvan borde ha en mer horisontell lutning efter det att avjämningsmassan läggs på eftersom provkroppens totala ånggenomgångsmotstånd har ökat. Den fukt som ska röra sig från betongens inre ut till ytan får nu ytterligare 10 mm avjämningsmassa att diffundera genom. Det som hindrar en utfläckning av kurvan är troligen att fuktillskottet ger större skillnad mellan ånghalten i provkroppen och ånghalten i omgivande luft och därmed en ökad drivkraft för fukttransport.

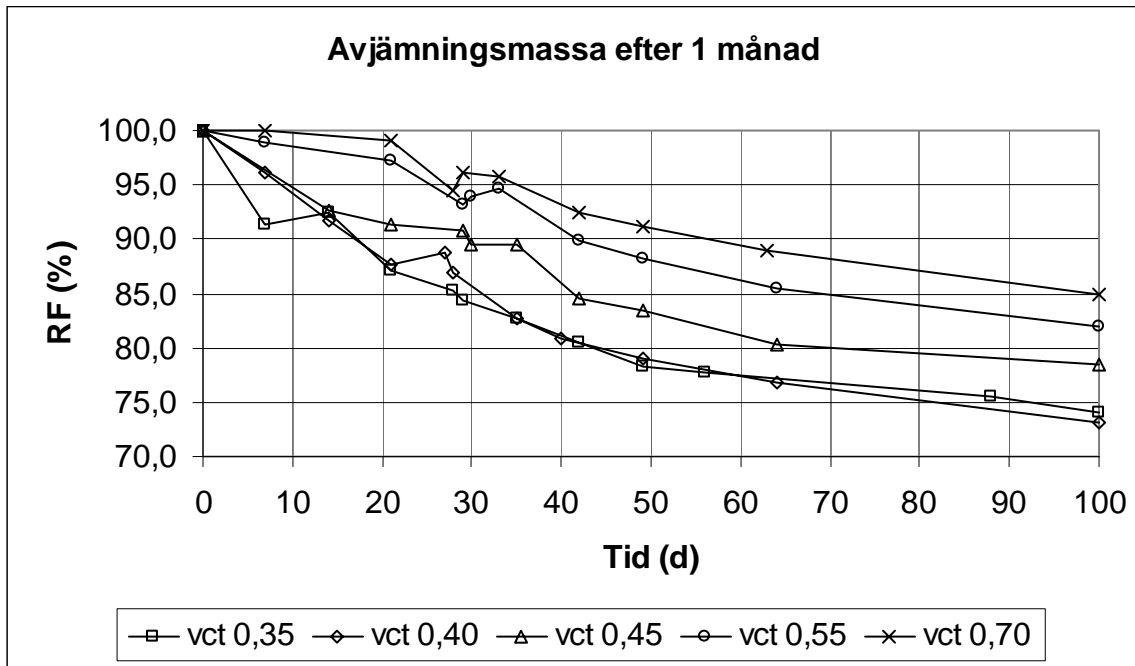


Fig. 7.10: Sammanställning av olika betongkvaliteters uttorkningsförlopp när avjämningsmassa läggs på efter 1 månads uttorkning. Mät djup 15 mm

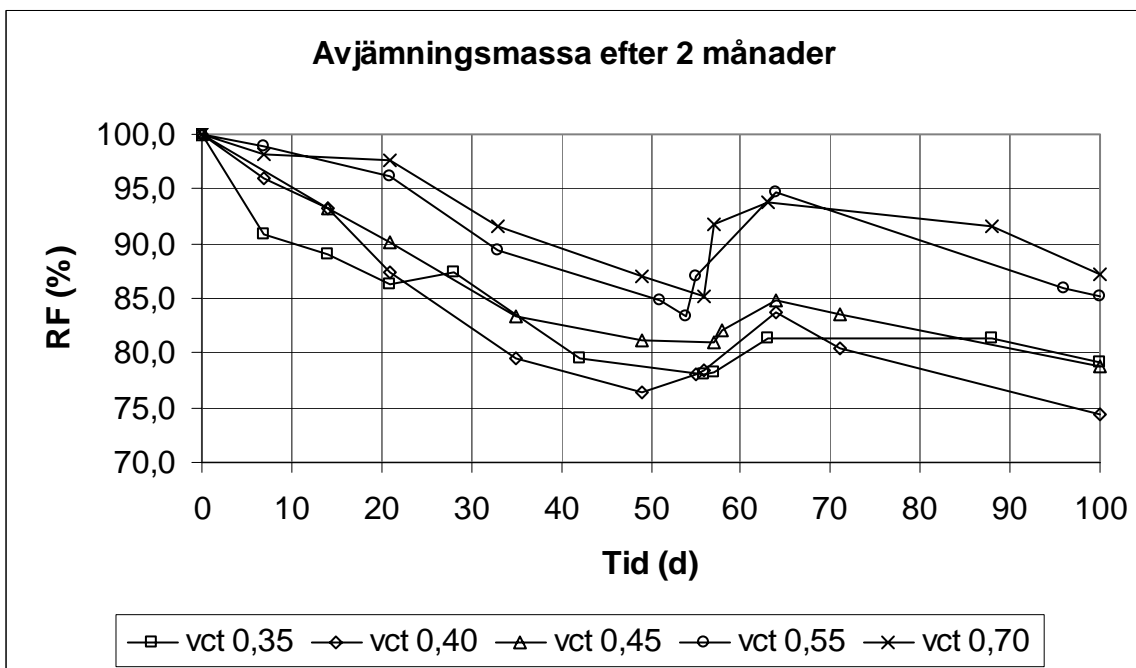


Fig. 7.11: Sammanställning av olika betongkvaliteters uttorkningsförlopp när avjämningsmassa läggs på efter 2 månads uttorkning. Mät djup 15 mm

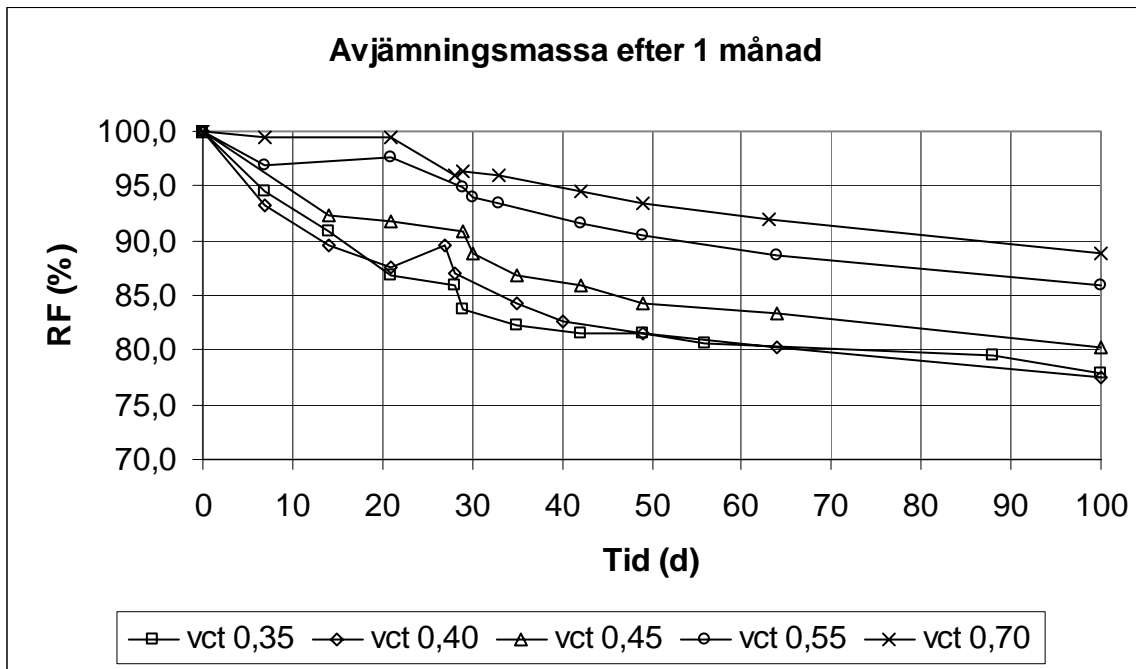


Fig. 7.12: Sammanställning av olika betongkvaliteters uttorkningsförlopp när avjämningsmassa läggs på efter 1 månads uttorkning. Mät djup 48 mm

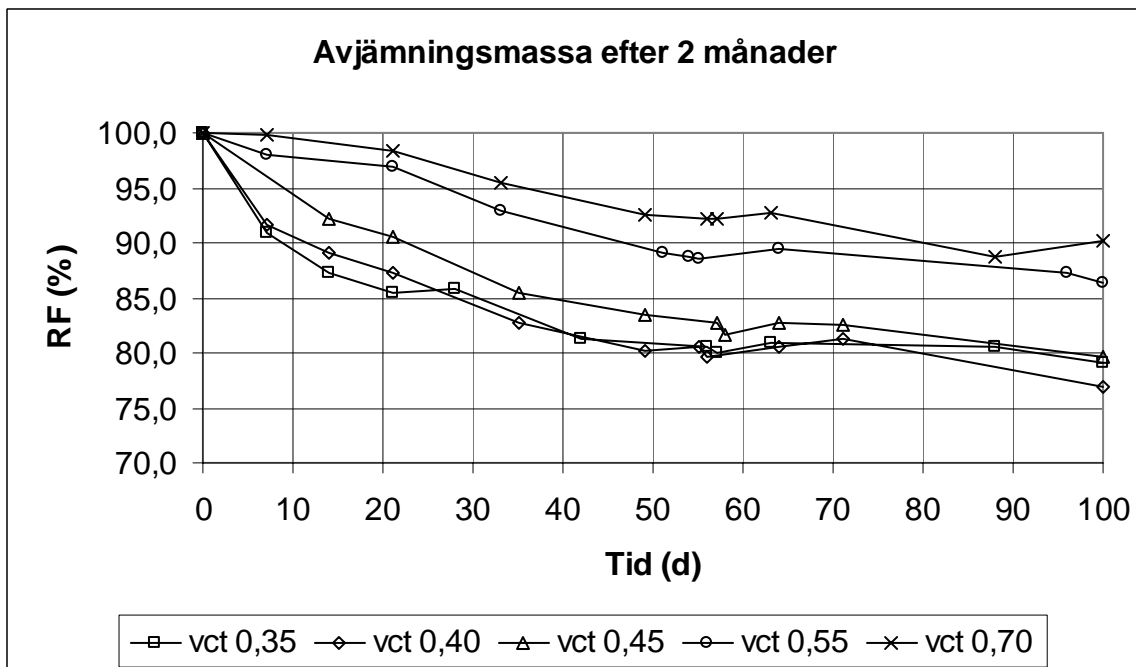


Fig. 7.13: Sammanställning av olika betongkvaliteters uttorkningsförlopp när avjämningsmassa läggs på efter 2 månads uttorkning. Mät djup 48 mm

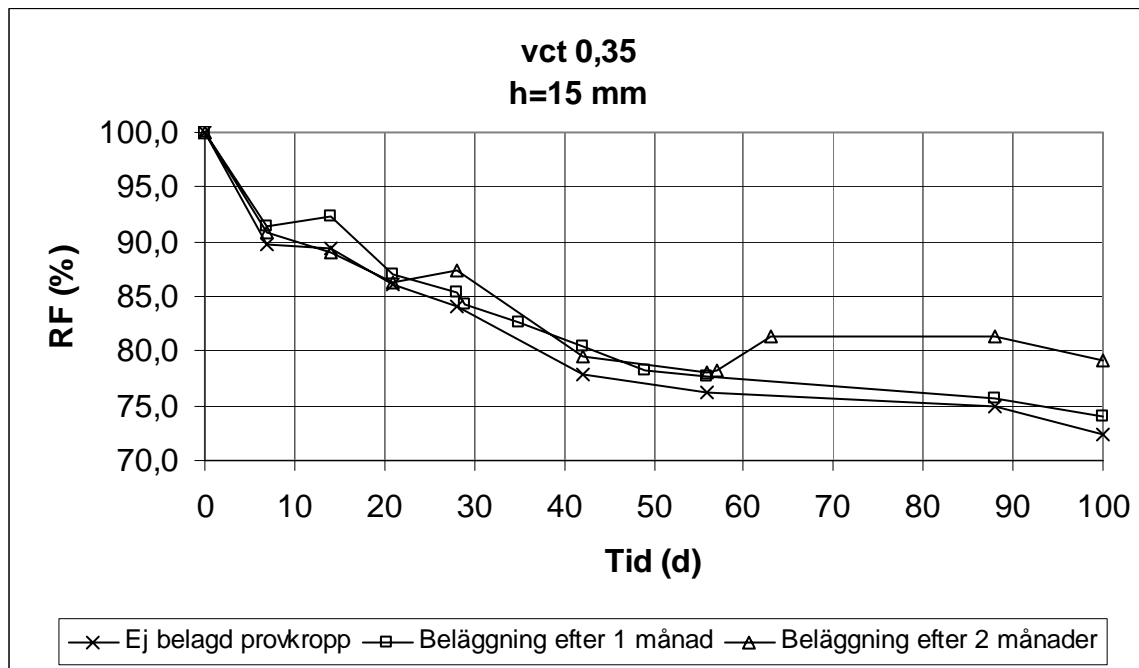


Fig. 7.14: Jämförelse i uttorkning mellan ej belagd provkropp, belägning efter 1 månad och belägning efter 2 månader. Mättdjup 15 mm. vct 0,35

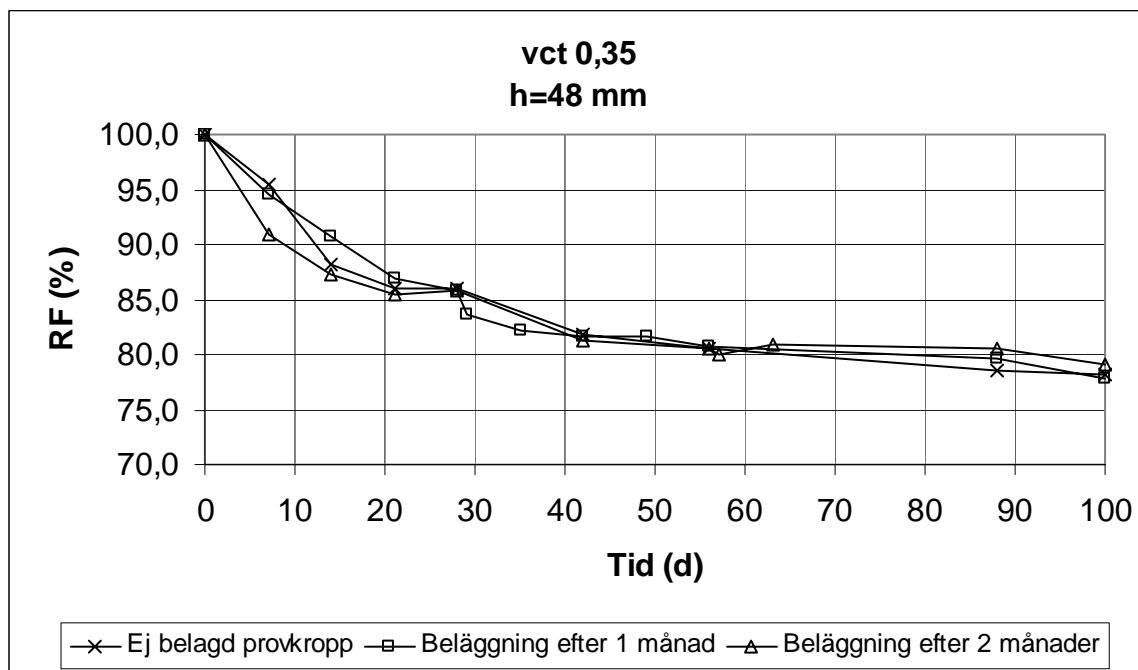


Fig. 7.15: Jämförelse i uttorkning mellan ej belagd provkropp, belägning efter 1 månad och belägning efter 2 månader. Mättdjup 48 mm. vct 0,35

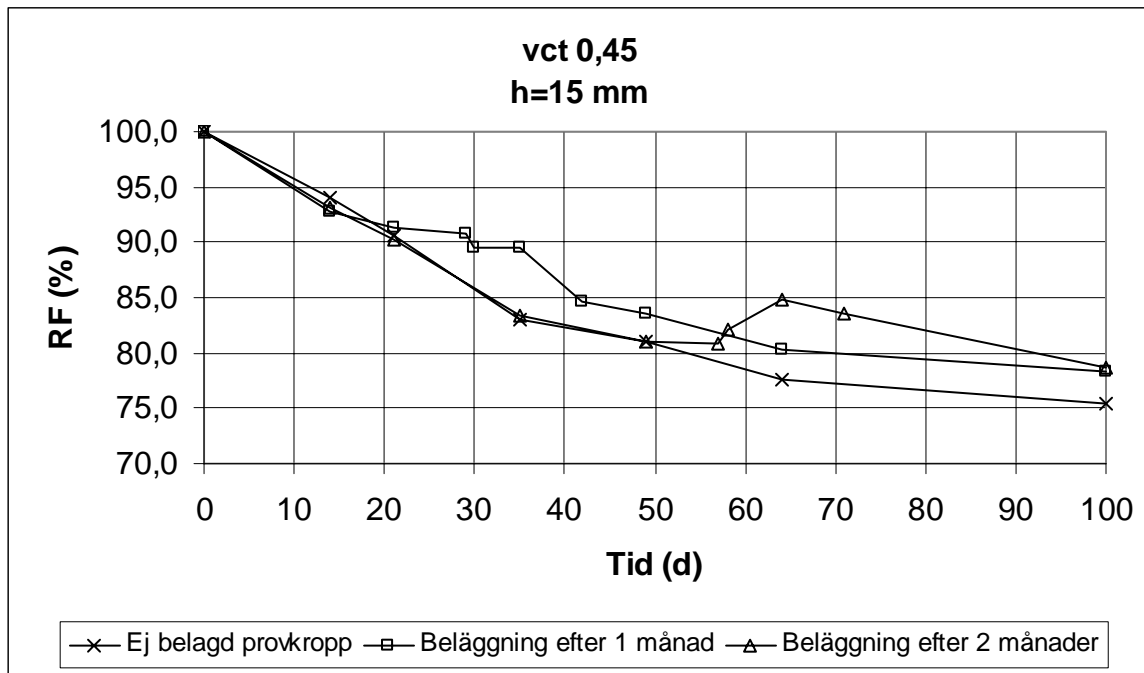


Fig. 7.16: Jämförelse i uttorkning mellan ej belagd provkropp, beläggning efter 1 månad och beläggning efter 2 månader. Mättdjup 15 mm. vct 0,45

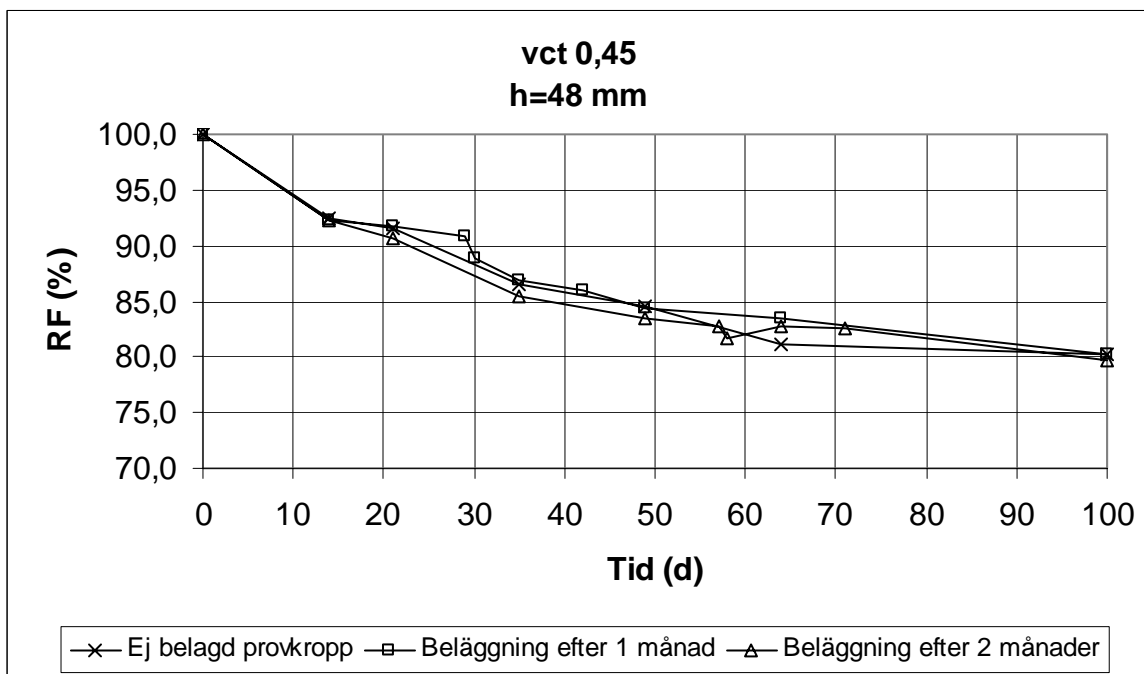


Fig. 7.17: Jämförelse i uttorkning mellan ej belagd provkropp, beläggning efter 1 månad och beläggning efter 2 månader. Mättdjup 48 mm. vct 0,45

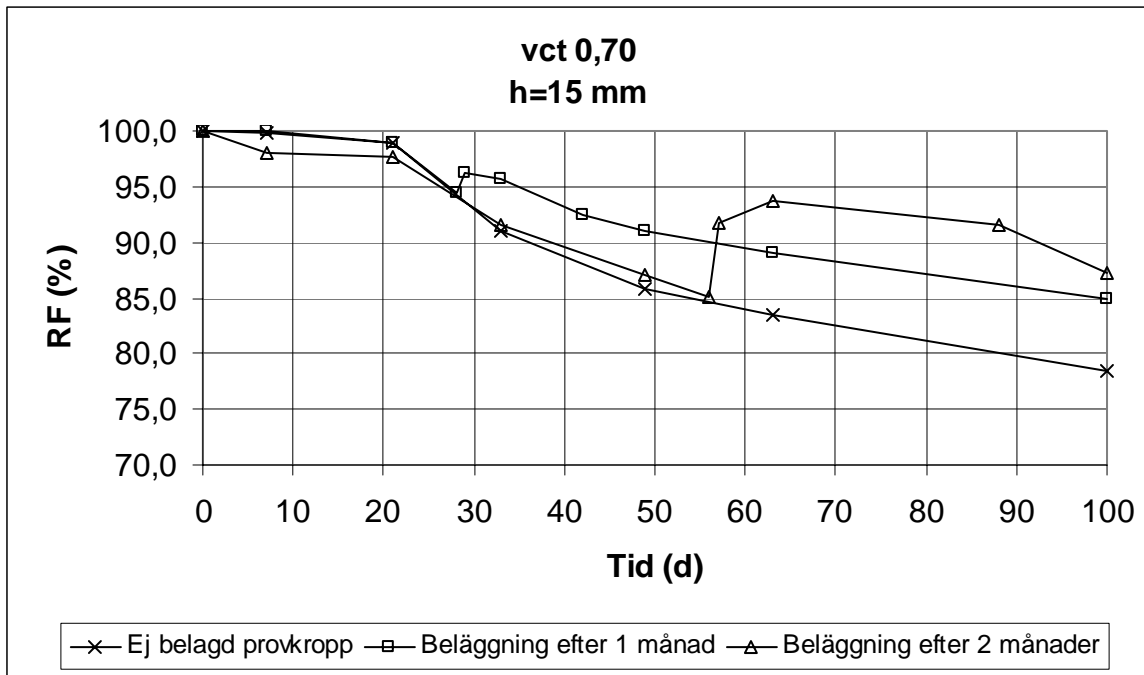


Fig. 7.18: Jämförelse i uttorkning av ej belagd provkropp, belägning efter 1 månad och belägning efter 2 månader. Mät djup 15 mm. vct 0,70

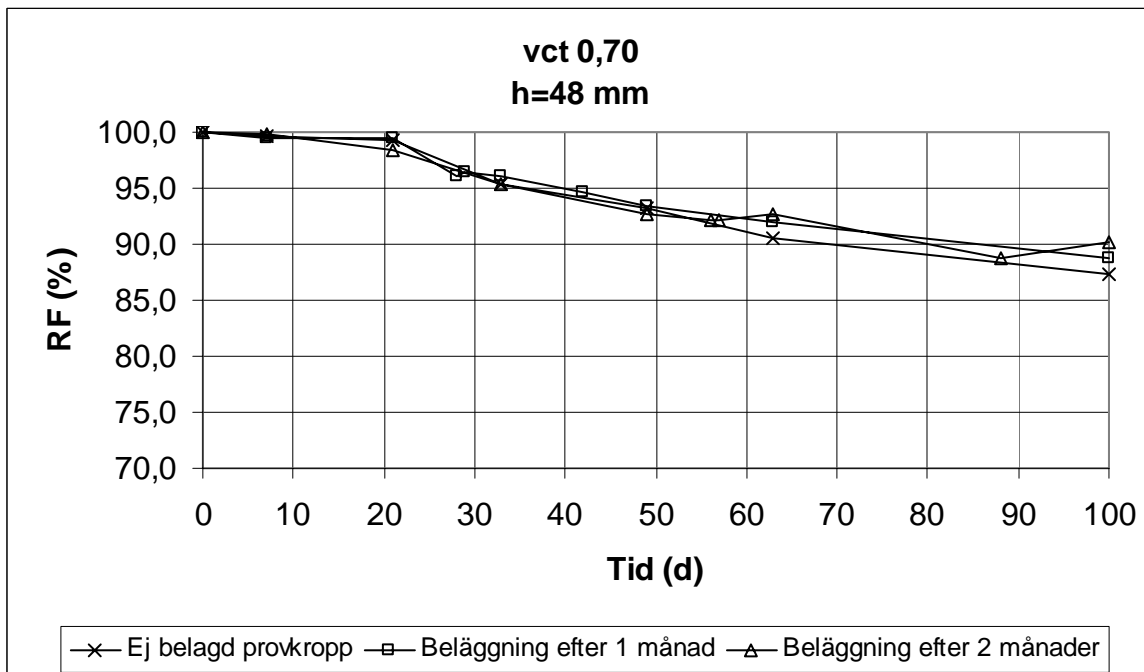


Fig. 7.19: Jämförelse i uttorkning mellan ej belagd provkropp, belägning efter 1 månad och belägning efter 2 månader. Mät djup 48 mm. vct 0,70

En jämförelse av RF-värdena, vid beläggning av avjämningsmassa efter 1 respektive 2 månader, visar att ju senare avjämningsmassan läggs på desto större blir ökningen av RF. Uttorkningskurvans lutning, d v s uttorkningens hastighet, efter det att avjämningsmassan läggs på är däremot ungefär densamma för båda fallen. Det gör att det tar längre tid att torka ut en betong ner till RF_{krit} , som i detta fall satts till 85% RF, för de fall när avjämningsmassan läggs på 2 månader efter uttorkning.

Betongens kvalitet spelar en stor roll vid påverkan av avjämningsmassa. Diagrammen ovan visar tydligt att fukttillskottet blir mycket större hos lägre betongkvaliteter än högre. Detta beror på den större tätheten hos höga betongkvaliteter. Under de 2-3 första dygnen då avjämningsmassan är som fuktigast hinner därför inte betongen med låga vct ta upp lika mycket vatten som de med höga vct.

En jämförelse mellan de olika mätdjupen visar att betongen påverkas mycket kraftigare på det mindre mätdjupet. Det beror på att fukttillskottet är begränsat och fuktas ner betongens ytskikt först. Innan fukttillskottet fördelats över hela provkroppen har uttorkningen genom ytan gått så långt att endast en mindre del av fukttillskottet vandrar ner till det större mätdjupet. Därför blir det endast en svag ökning av RF på mätdjupet 48 mm.

Trots att avståndet mellan de båda mätdjupen är relativt stort verkar RF-nivån på de båda nivåerna påverkas av avjämningsmassan vid ungefär samma tidpunkt, vilket tyder på att en viss fuktmängd når ner till det större mätdjupet relativt kort tid efter beläggning med avjämningsmassa. Om man hade mätt RF med kortare tidsintervall hade man troligen observerat en viss fördröjning av RF-ökningen på det större djupet.

Att uppskatta den förlängda uttorkningstiden på ekvivalent djup då betongen påverkas av avjämningsmassa är mycket svårt. Det beror på att fuktprofilen skiljer sig markant mellan referensprover och prover belagda med avjämningsmassa. När proverna beläggs med avjämningsmassa får de till en början en fuktprofil med högre eller lika höga RF-värden på det mindre mätdjupet jämfört med det större mätdjupet. Det ekvivalenta mätdjupet blir därmed mycket svårt att ta fram, dessutom kommer det att ändras med tiden. Trots detta används oftast, även i de fall man applicerar avjämningsmassa, det ekvivalenta djupet $0,4H$ för enkelsidig uttorkning. Därför redovisas i fig. 7.20 nedan uttorkningstider till 85% RF för betongerna med vct 0,35, 0,40 och 0,45 på mätdjupet 48 mm. Betongerna med vct 0,55 och 0,70 har inte hunnit ner till 85% RF och kan därför inte redovisas.

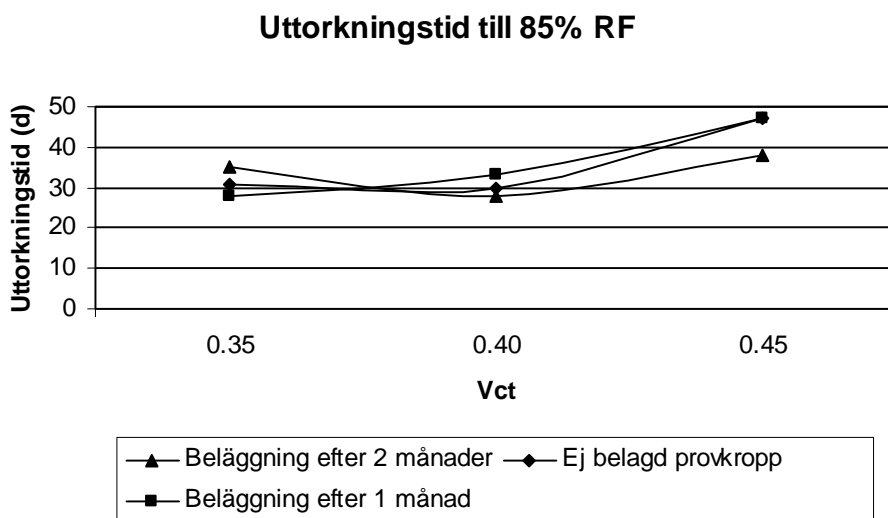


Fig. 7.20: Uttorkningstid för vct 0,35, 0,40 och 0,45 till 85% RF. Mätdjup 48 mm

Som framgår av fig. 7.20 ovan finns inget entydigt logiskt samband mellan vct, uttorkningstid och tidpunkten för applicering av avjämningsmassan. Även i de fall det skiljer upp till 10 dygn i uttorkningstid kan detta vara inom felmarginalen för mätvärdena. Kurvorna har nämligen en väldigt flack lutning vid 85% RF, vilket kan ge stora skillnader i uppskattad uttorkningstid även om mätfelen skulle vara små. Slutligen kan det konstateras att om lagret med avjämningsmassan är relativt tunt påverkas inte betongens RF nämnvärt på det ekvivalenta djupet.

8. Användning av datorprogrammet TorkaS

8.1 Allmänt

TorkaS 2.0 /7/ är ett program, utvecklat vid Lunds Tekniska Högskola. Programmet ska med ett stort antal variabler kunna efterlikna ett verkligt uttorkningsförlopp hos en nygjuten betong. De variabler som ingår är konstruktionens förutsättningar, tid, betongtjocklek, betongkvalitet och klimatdata.

Konstruktionen kan bestå av mellanbjälklag eller platta på mark. Uttorkningen kan vara ensidig, dubbelsidig eller en kombination av dessa. Gjutdatum måste anges och datum när konstruktionen skyddas av tak och väggar samt datum när klimatet kan styras. Använda klimatdata är direkt kopplade till det normala utomhusklimatet för den aktuella platsen och tiden på året. Man kan också använda egna klimatdata. Även de dagar då konstruktionen utsätts för regn ska anges. Klimatdata beskrivs i form av relativ fuktighet och temperatur.

När dessa variabler har angetts beräknar TorkaS hur den relativa fuktigheten förändras i konstruktionen under torktiden. Resultatet redovisas i tabell och grafiskt, vilket gör det lätt att avgöra hur lång uttorkningstid som krävs för att nå önskad relativ fuktighet i betongen. Även indata redovisas i resultatet.

8.2 Simulering med TorkaS

Provkropparna som användes angavs i TorkaS som platta på mark med en tät folie i, vilket ger en enkelsidig uttorkning. Tjockleken på betongen sattes till 120 mm och det ekvivalenta djupet blir därmed 48 mm. För att kunna jämföra resultaten från TorkaS med mätvärdena med minimalt antal felkällor mättes klimatrummens relativa fuktighet och temperatur under hela mätperioden med 6 timmars mellanrum. Dygnsmedelvärden för dessa beräknades, se appendix B, och matades sedan in i TorkaS.

8.3 Analys av resultat från TorkaS

Av beräkningarna framgår tydligt att de av TorkaS beräknade torktiderna är avsevärt längre än de verkliga. Anledningarna till detta kan vara många. Dels kan olika felkällor ha uppstått under genomförandet av försöket, vilket gör att inmatade data inte överensstämmer med de verkliga värdena, dels kan programmet innehålla felaktigheter. Skillnaderna i uttorkningstid varierar också beroende på betongens vct och hur länge provkropparna utsatts för vatten. I fig. 8.1-8.5 nedan redovisas beräknad uttorkningstid och de uppmätta värdena. Dock redovisas bara ytterlighetsfallen 1 och 7 dygns nederbörd, samt för den ej regnbelastade provkroppen (referensprovet).

vct 0.35

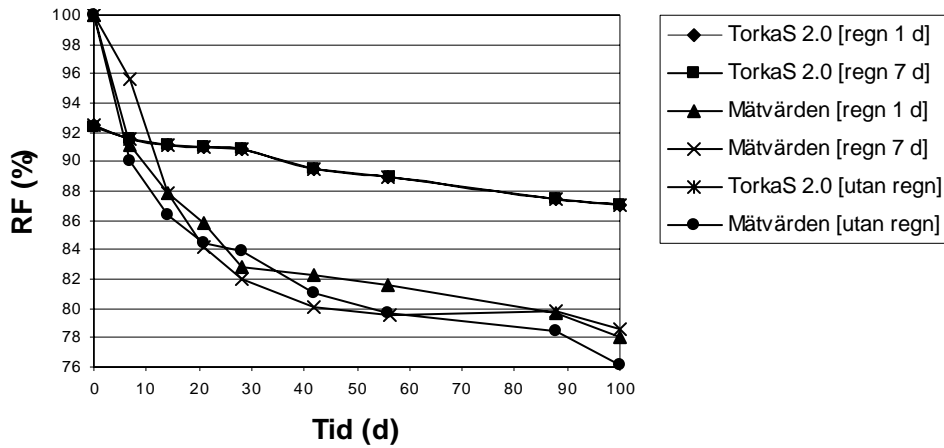


Fig. 8.1: Beräknad uttorkning med TorkaS 2.0 och uppmätta värden för betong med vct 0,35 med regn i 1 dygn, 7 dygn och utan regn. Mät djup 48 mm

vct 0.40

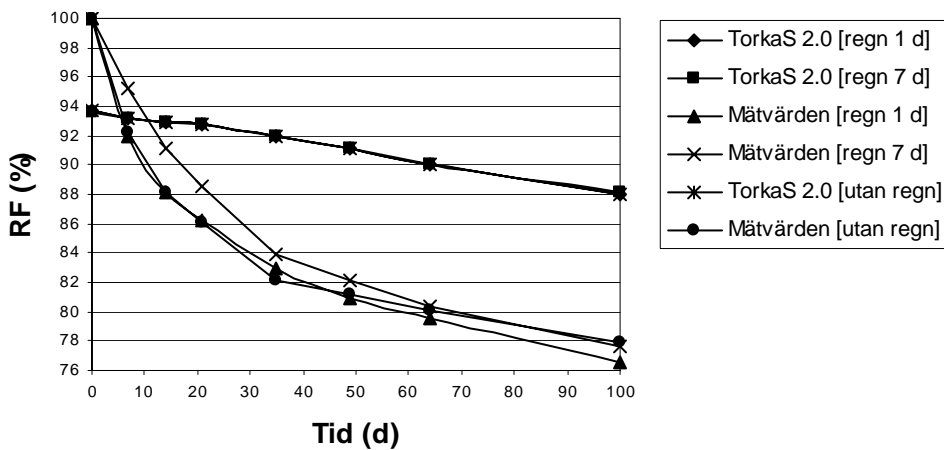


Fig. 8.2: Beräknad uttorkning med TorkaS 2.0 och uppmätta värden för betong med vct 0,40 med regn i 1 dygn , 7 dygn och utan regn. Mät djup 48 mm

vct 0.45

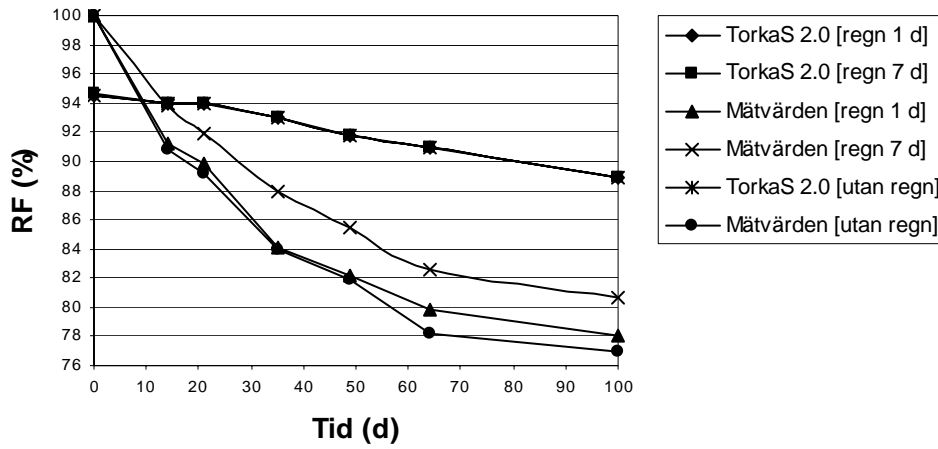


Fig. 8.3: Beräknad uttorkning med TorkaS 2.0 och uppmätta värden för betong med vct 0,45 med regn i 1 dygn , 7 dygn och utan regn. Mät djup 48 mm

vct 0.55

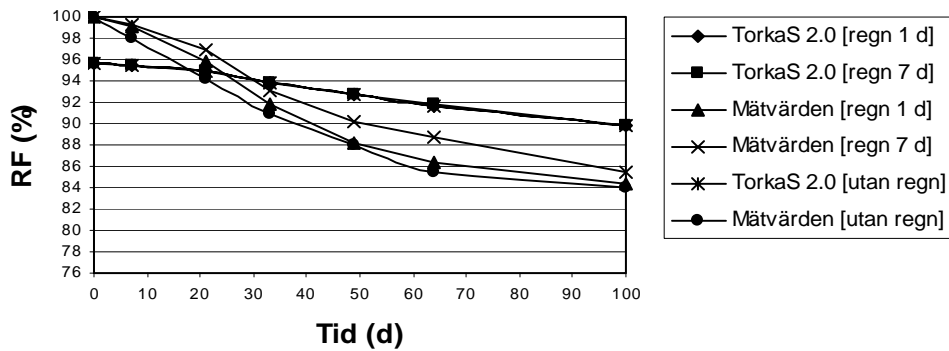


Fig. 8.4: Beräknad uttorkning med TorkaS 2.0 och uppmätta värden för betong med vct 0,55 med regn i 1 dygn, 7 dygn och utan regn. Mät djup 48 mm

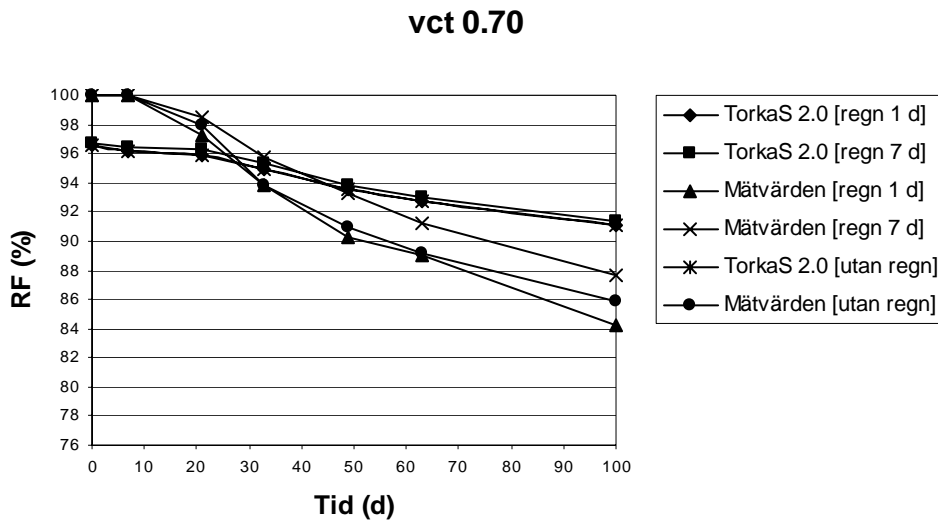


Fig. 8.5: Beräknad uttorkning med TorkaS 2.0 och uppmätta värden för betong med vct 0,70 med regn i 1 dygn , 7 dygn och utan regn. Mät djup 48 mm

Skillnaden i uttorkningstid mellan TorkaS-beräkningarna och mätvärden är störst vid låga vct. Vid högre vct stämmer värdena mer överens. Uttorkningstiden enligt TorkaS är i samtliga fall längre än vad den verkliga uttorkningstiden var i försöket.

Enligt programmet påverkas knappast uttorkningen av skillnader i regnbelastning. Det syns tydligt i figuren ovan, där de av TorkaS beräknade kurvorna för regn i 1 och 7 dygn sammanfaller nästan helt vid samma vct. Skillnaderna i beräknad RF mellan 1 dygns regn, 7 dygns regn och utan regn är för alla vct högst någon tiondels procentenhet. Detta skiljer sig markant från uppmätta värden där skillnaderna mellan olika regnbelastningar är betydligt större.

En orsak till att programmet ger för långa uttorkningstider är att det inte tar hänsyn till betongens värmeutveckling vid hydratiseringen. Detta kan förklara att skillnaden är störst för betonger med låga vct då dessa får större värmeutveckling än de med höga vct. Att programmet inte påverkas nämnvärt av regn kan bero på att det inte tar tillräcklig hänsyn till eventuell insugning av vatten.

9. Slutsatser

Inverkan av regn

Nederbörd på en nygjuten betong har inverkan på betongens uttorkningstid, vilken förlängs. Hur stor denna inverkan blir bestäms av vattencementtalet. Ett ökat vattencementtal ger en större förlängning av uttorkningstiden.

Vid uttorkning till 85% RF för betonger med $vct \leq 0,40$ är nederbördens effekt måttlig. Den förlängda uttorkningstiden motsvarar ungefär varaktigheten hos nederbörden. Detta talar för att orsaken till förlängningen i uttorkningstid är den första tidens förhindrade uttorkning, och att någon nämnvärd vatteninsugning antagligen inte skett.

För $vct > 0,40$ á $0,45$ har nederbörden en större inverkan. Resultaten visar att förlängningen i uttorkningstid ökar kraftigt med ökande vattencementtal. För $vct 0,45$ förlängs uttorkningstiden ca 2 veckor vid 2-4 dagars nederbörd och ca 1 månad vid 1 veckas nederbörd. För $vct 0,55$ är motsvarande förlängning 1 respektive 2 månader. En extrapolation av uttorkningskurvan för $vct 0,70$ ger en förlängning på 2 á 3 månader vid 2-4 veckors nederbörd och ett knappt halvår vid en 1 veckas nederbörd. Dessa tider är dock behäftade med en stor osäkerhet.

Undersökningen visar också att nederbördens inverkan blir större ju lägre RF_{krit} sätts. Den förlängda uttorkningstiden är för de lägre kvaliteterna ca 1 vecka vid uttorkning till 95% RF. För 85% RF är motsvarande förlängning ca 2 månader.

Även vid en helt skyddad konstruktion har vattencementtalet en avsevärd inverkan på uttorkningstiden. Då konstruktionen kan komma att utsättas för nederbörd måste inverkan av vct tas i extra noggrant beaktande.

De avsevärda skillnaderna i uttorkningstid torde, även ur ett ekonomiskt perspektiv, kunna motivera att vattencementtalet sänks och/eller att konstruktionen väderskyddas. Detta är dock i stort sett omöjligt när konstruktionen utsätts för regn under de första dygnet efter gjutning.

Jämförelse med TorkaS 2.0

Regnsimuleringarna gjorda med TorkaS visar att detta program inte tar hänsyn till regn under de första dagarna efter gjutning. Inte ens då varaktigheten hos regnet sätts till en vecka fås någon avvikelse i resultatet jämfört med en icke regnbelastad betong.

Dessutom stämmer de i TorkaS 2.0 simulerade resultaten dåligt överens med de i studien uppmätta resultaten. För $vct 0,55$ och $0,70$ är de uppmätta resultaten 4 á 6 %-enheter lägre än de simulerade. För $vct 0,35-0,45$ är avvikelserna ännu högre, 8 á 10 %-enheter.

Denna avvikelserna medför att de ur TorkaS-simuleringar uppskattade uttorkningstiderna blir avsevärt mycket längre än i verkligheten. Som en följd av uttorkningskurvornas flacka lutning är det inte osannolikt att programmet i vissa fall överskattar den verkliga uttorkningstiden med så mycket som 0,5 á 1 år.

Inverkan av avjämningsmassa

Vid applicering av avjämningsmassa sker ett fukttillskott till betongen. Detta ger en momentan ökning av RF på 15 mm djup. Fukttillskottet är dock för litet för att nämnvärt påverka RF på ekvivalenta djupet, 48 mm.

För vct 0,55 och 0,70 ökar RF med ca 2 %-enheter på 15 mm mätdjup då avjämningsmassan läggs på 1 månad efter gjutning. För vct 0,40 och 0,45 sker ingen ökning av RF men uttorkningen avstannar något direkt efter att avjämningsmassan lagts på. För vct 0,35 verkar inte avjämningsmassan ha någon inverkan alls på betongens uttorkning; sannolikt är betongen så tät att fukten inte förmår diffundera längre än till det översta ytskiktet.

När avjämningsmassan appliceras efter 2 månader sker en större RF-ökning på 15 mm mätdjup. För betonger med vct 0,55 och 0,70 är ökningen ca 10 %-enheter, och för vct 0,40 och 0,45 ca 6 %-enheter. Även den högsta kvaliteten, vct 0,35, får en viss ökning, ca 4 %-enheter. Sannolikt beror dessa skillnader mellan de olika tidpunkterna på att betongen hunnit bli torrare, varvid fuktpotentialen ökar och därmed också diffusionen. På ekvivalenta djupet påverkas dock inte RF nämnvärt.

10. Referenser

- /1/ Fagerlund, G : Betonghandbok. Material, andra utgåvan, kap. 10 Struktur och strukturutveckling. AB Svensk Byggtjänst, 1994
- /2/ Fagerlund, G : Kompendium i Byggnadsmaterial FK, vol. 1. Avd. byggnadsmaterial, LTH, 2001
- /3/ Fagerlund, G : Kompendium i Byggnadsmaterial FK, vol. 2. Avd. byggnadsmaterial, LTH, 2001
- /4/ Fagerlund, G : Kompendium i Byggnadsmaterial FK, vol. 3. Avd. byggnadsmaterial, LTH, 2001
- /5/ Fagerlund, G : Snabb- och självtorkande betong – så här fungerar de. Byggforskning nr 2, 1996
- /6/ Hedenblad, G : Uttorkning av byggfukt i betong. Torktider och fuktmätning. Byggforskningsrådet Rapport T12:1995
- /7/ Hedenblad, G & Arfvidsson, J : TorkaS 2.0, 2002
- /8/ Malmberg, B : Sunt byggande med betong ger friska golv. Cementa AB, 1999
- /9/ Nevander, L-E & Elmarsson, B : Fukthandbok. Praktik och teori, andra utgåvan. AB Svensk byggtjänst, 1994
- /10/ Nilsson, L-O : Betonghandbok. Material, andra utgåvan, kap. 14 Fukt och betong. AB Svensk Byggtjänst, 1994
- /11/ Rapp, T : Manual. Fuktmätning i betong. Rådet för byggkompetens, 2001
- /12/ Sandin, Kenneth : Introduktion till fuktmekaniken. Byggforskningsrådet Rapport T16:1997
- /13/ Svenska betongföreningen : Betong för sunda golv – fuktdimensionering, materialval, produktion. Betongrapport nr 6, Svenska betongföreningen, 1997
- /14/ Svensk byggtjänst : HusAMA98. AB Svensk byggtjänst, 1998
- /15/ Hemsida, Vaisala Oy

Appendix A

Betongrecept och den färska betongens egenskaper

Vct:	0,35	Lagringstemp:	+5/+20C
Gjutdatum:	02-10-14	Tid:	10:00

Recept		
	kg/m³	kg/90 l
Cement	500,0	45,00
Vatten	175,0	15,75
Grus 0-8	853,3	76,80
Sten 8-12	426,7	38,40
Sten 8-16	426,7	38,40
Flytmedel 92M		0,636

Bakgrundsfakta recept	
	kg/m³
Densitet	
Cement	3100
Vatten	1000
Ballast	2650
Antagen lufthalt	2%
Blandningsvolym	90 l

Egenskaper för den färska betongen	
Densitet	2391 kg/m ³
Lufthalt	1,9 %

Vct:	0,40	Lagringstemp:	+5/+20C
Gjutdatum:	02-10-11	Tid:	10:00

Recept		
	kg/m³	kg/90 l
Cement	435,0	39,15
Vatten	174,0	15,66
Grus 0-8	882,5	79,43
Sten 8-12	441,2	39,71
Sten 8-16	441,2	39,71
Flytmedel 92M		0,490

Bakgrundsfakta recept	
Densitet	kg/m³
Cement	3100
Vatten	1000
Ballast	2650
Antagen lufthalt	2%
Blandningsvolym	90 l

Egenskaper för den färska betongen	
Densitet	2396 kg/m ³
Lufthalt	2,2 %

Vct:	0,45	Lagringstemp:	+5/+20C
Gjutdatum:	02-10-09	Tid:	14:00

Recept		
	kg/m3	kg/90 l
Cement	400,0	36,00
Vatten	180,0	16,20
Grus 0-8	889,1	80,02
Sten 8-12	444,5	40,01
Sten 8-16	444,5	40,01
Flytmedel 92M		0,450

Bakgrundsfakta recept	
	kg/m3
Densitet	
Cement	3100
Vatten	1000
Ballast	2650
Antagen lufthalt	2%
Blandningsvolym	90 l

Egenskaper för den färska betongen	
Densitet	2391 kg/m3
Lufthalt	1,8 %

Vct:	0,55	Lagringstemp:	+5/+20C
Gjutdatum:	02-10-16	Tid:	14:00

Recept		
	kg/m³	kg/90 l
Cement	340,0	30,60
Vatten	185,0	16,65
Grus 0-8	908,0	81,72
Sten 8-12	454,0	40,86
Sten 8-16	454,0	40,86
Flytmedel 92M		0,306

Bakgrundsfakta recept	
Densitet	kg/m³
Cement	3100
Vatten	1000
Ballast	2650
Antagen lufthalt	2%
Blandningsvolym	90 l

Egenskaper för den färska betongen	
Densitet	2368 kg/m ³
Lufthalt	1,4 %

Vct:	0,70	Lagringstemp:	+5/+20C
Gjutdatum:	02-10-14	Tid:	14:00

Recept		
	kg/m³	kg/90 l
Cement	260,0	23,40
Vatten	182,0	16,38
Grus 0-8	972,7	87,54
Sten 8-12	486,3	43,77
Sten 8-16	486,3	43,77
Flytmedel 92M		0,234

Bakgrundsfakta recept	
Densitet	kg/m³
Cement	3100
Vatten	1000
Ballast	2650
Antagen lufthalt	2%
Blandningsvolym	90 l

Egenskaper för den färska betongen	
Densitet	2375 kg/m ³
Lufthalt	1,6 %

Appendix B

Registrering av RF och temperatur i klimatrum

Dygnsmedelvärde av temperatur och RF i klimatrum +5°C

Datum	T medel	RF medel
02-10-09	7,8	83,3
02-10-10	7,8	82,1
02-10-11	6,8	82,3
02-10-12	4,4	79,0
02-10-13	4,6	80,0
02-10-14	4,8	80,7
02-10-15	7,4	82,2
02-10-16	8,5	81,3
02-10-17	8,7	82,3
02-10-18	9,1	82,5
02-10-19	8,4	80,1
02-10-20	8,2	80,1
02-10-21	7,3	80,8
02-10-22	4,5	78,3
02-10-23	4,3	80,2
02-10-24	4,3	81,8
02-10-25	4,1	82,2
02-10-26	3,9	80,4
02-10-27	4,1	81,3
02-10-28	3,9	82,4
02-10-29	4,0	82,1
02-10-30	4,0	81,6
02-10-31	4,2	81,9
02-11-01	4,0	82,4
02-11-02	4,0	81,6
02-11-03	4,0	82,0
02-11-04	3,9	82,6
02-11-05	3,9	81,9
02-11-06	3,9	84,3
02-11-07	4,0	80,8
02-11-08	4,0	81,4
02-11-09	5,4	84,1
02-11-10	14,5	90,8
02-11-11	15,4	84,6
02-11-12	9,4	81,3
02-11-13	7,8	81,8
02-11-14	7,2	82,1
02-11-15	6,8	82,9
02-11-16	6,8	82,3
02-11-17	6,7	81,8

Dygnsmedelvärde av temperatur och RF i klimatrum +20°C

Datum	T medel	RF medel
02-11-06	19,9	61,4
02-11-07	19,5	60,9
02-11-08	19,7	62,6
02-11-09	19,6	64,8
02-11-10	20,0	65,7
02-11-11	19,6	61,9
02-11-12	19,5	61,6
02-11-13	19,5	61,8
02-11-14	19,5	61,5
02-11-15	19,5	61,4
02-11-16	19,6	61,9
02-11-17	19,5	62,3
02-11-18	19,7	62,4
02-11-19	19,6	63,0
02-11-20	19,6	62,0
02-11-21	19,6	61,8
02-11-22	19,6	62,4
02-11-23	19,4	62,9
02-11-24	19,4	62,9
02-11-25	19,4	62,3
02-11-26	19,6	62,4
02-11-27	19,6	63,1
02-11-28	19,7	63,8
02-11-29	19,6	62,9
02-11-30	19,6	62,2
02-12-01	19,6	63,1
02-12-02	19,6	62,2
02-12-03	19,6	62,1
02-12-04	19,6	61,7
02-12-05	19,7	62,4
02-12-06	19,8	62,3
02-12-07	19,8	62,5
02-12-08	19,9	62,7
02-12-09	19,8	62,0
02-12-10	19,8	61,8
02-12-11	19,8	62,6
02-12-12	19,7	61,8
02-12-13	19,7	61,8
02-12-14	19,7	61,7
02-12-15	19,7	62,2

Datum	T medel	RF medel
02-12-16	19,7	62,2
02-12-17	19,8	63,3
02-12-18	19,7	62,1
02-12-19	19,7	61,9
02-12-20	19,6	62,3
02-12-21	19,6	62,2
02-12-22	19,8	62,6
02-12-23	19,7	62,5
02-12-24	19,7	62,1
02-12-25	19,6	62,1
02-12-26	19,6	61,6
02-12-27	19,6	61,9
02-12-28	19,5	62,0
02-12-29	19,5	61,7
02-12-30	19,5	61,9
02-12-31	19,6	61,9
03-01-01	19,6	62,4
03-01-02	19,6	62,0
03-01-03	19,6	61,8
03-01-04	19,7	63,1
03-01-05	20,2	63,9
03-01-06	20,2	63,6
03-01-07	19,9	62,2
03-01-08	19,8	62,0
03-01-09	19,8	62,0
03-01-10	19,6	62,0
03-01-11	19,7	61,9
03-01-12	19,6	61,7
03-01-13	19,5	61,5
03-01-14	19,6	61,9
03-01-15	19,7	62,7
03-01-16	19,8	62,5
03-01-17	19,6	61,8
03-01-18	19,6	62,3
03-01-19	19,7	62,8
03-01-20	19,5	62,0
03-01-21	19,5	62,1
03-01-22	19,4	60,7
03-01-23	19,6	62,4
03-01-24	19,7	61,9

Appendix C

Mätvärden och uttorkningskurvor

Prov nr: 4.1 vct 0,40 Regn 1 d					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021011	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021018	7	90,5	91,7	92,5	93,3
021025	14	86,0	88,3	89,7	91,1
021101	21	84,1	86,3	88,5	89,9
021115	35	78,1	82,9		
021129	49	74,9	80,8		
021214	64	73,7	79,4		
030122	100	72,3	76,6		

Prov nr: 4.2 vct 0,40 Regn 2 d					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021011	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021018	7	94,7	93,2	95,5	94,3
021025	14	87,5	89,0	90,7	91,5
021101	21	85,7	86,7	89,5	88,1
021115	35	80,1	83,5		
021129	49	76,7	81,4		
021214	64	74,7	80,2		
030122	100	72,7	77,6		

Prov nr: 4.3 vct 0,40 Regn 4 d					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021011	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021018	7	97,6	97,5	97,8	97,7
021025	14	91,2	90,5	92,9	92,5
021101	21	88,5	87,7	91,2	90,7
021115	35	81,3	84,6		
021129	49	79,3	82,3		
021214	64	77,5	81,8		
030122	100	74,6	78,7		

Prov nr: 4.4 vct 0,40 Regn 7 d					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021011	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021018	7	97,2	95,1	97,5	95,7
021025	14	89,0	91,1	91,5	92,9
021101	21	86,2	88,6	89,8	91,3
021115	35	81,3	83,7		
021129	49	78,7	82,2		
021214	64	77,0	80,5		
030122	100	74,8	77,4		

Prov nr: 4.5 vct 0,40 Referens för regnförsök					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021011	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021018	7	94,7	92,4	95,5	93,8
021025	14	85,4	88,6	89,3	91,3
021101	21	83,3	86,3	87,9	89,9
021115	35	79,2	82,1		
021129	49	76,2	81,2		
021214	64	74,5	80,2		
030122	100	72,2	77,6		

Prov nr: 4.6 vct 0,40 Avjämningsmassa 1 mån					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021011	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021018	7	96,1	93,2	96,5	94,3
021025	14	91,7	89,5	93,3	91,8
021101	21	87,7	87,5	90,8	90,7
021107	27	88,7	89,6		
021108	28	87,0	87,1		
021115	35	82,7	84,3		
021120	40	80,9	82,6		
021129	49	79,1	81,5		
021214	64	76,8	80,2		
030122	100	73,1	77,5		

Prov nr: 4.7 vct 0,40 Avjämningsmassa 2 mån					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021011	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021018	7	95,9	91,6	96,4	93,2
021025	14	93,3	89,1	94,3	91,6
021101	21	87,4	87,3	90,6	90,6
021115	35	79,6	82,8		
021129	49	76,4	80,1		
021205	55	78,0	80,6		
021206	56	78,5	79,6		
021214	64	83,7	80,5		
021221	71	80,5	81,2		
030122	100	74,3	77,0		

Prov nr: 4.8 vct 0,40 Referens avjämningsmassa					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021011	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021018	7	95,5	92,3	96,1	93,7
021025	14	92,3	89,9	93,7	92,1
021101	21	87,7	87,8	90,8	90,8
021115	35	79,9	83,6		
021129	49	77,1	81,4		
021214	64	75,6	79,3		
030122	100	72,4	77,5		

Prov nr: 5.1 vct 0,35 Regn 1 d					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021014	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021021	7	89,3	91,1	91,7	92,9
021028	14	85,5	87,6	89,4	90,7
021104	21	83,6	85,5	88,1	89,4
021111	28	80,8	82,8	85,5	86,9
021125	42	76,7	82,3		
021209	56	74,9	81,3		
030110	88	74,4	79,4		
030129	100	71,5	78,0		

Prov nr: 5.2 vct 0,35 Regn 2 d					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021014	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021021	7	92,6	93,5	93,9	94,6
021028	14	86,3	87,5	89,9	90,7
021104	21	84,4	85,5	88,7	89,4
021111	28	82,5	83,2	86,4	87,5
021125	42	77,1	81,1		
021209	56	75,5	80,1		
030110	88	73,2	78,8		
030129	100	71,8	77,3		

Prov nr: 5.3 vct 0,35 Regn 4 d					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021014	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021021	7	95,1	92,2	95,8	93,6
021028	14	90,2	88,6	92,2	91,3
021104	21	87,0	86,2	90,4	89,8
021111	28	84,1	83,2	87,9	87,1
021125	42	78,5	81,5		
021209	56	76,4	80,4		
030110	88	75,3	80,1		
030129	100	72,6	77,3		

Prov nr: 5.4 vct 0,35 Regn 7 d					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021014	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021021	7	96,4	95,5	96,8	96,1
021028	14	88,0	90,1	90,9	92,2
021104	21	84,5	87,3	88,8	90,6
021111	28	82,0	84,5	88,3	89,4
021125	42	77,4	82,0		
021209	56	75,0	80,1		
030110	88	74,3	78,9		
030129	100	71,5	78,7		

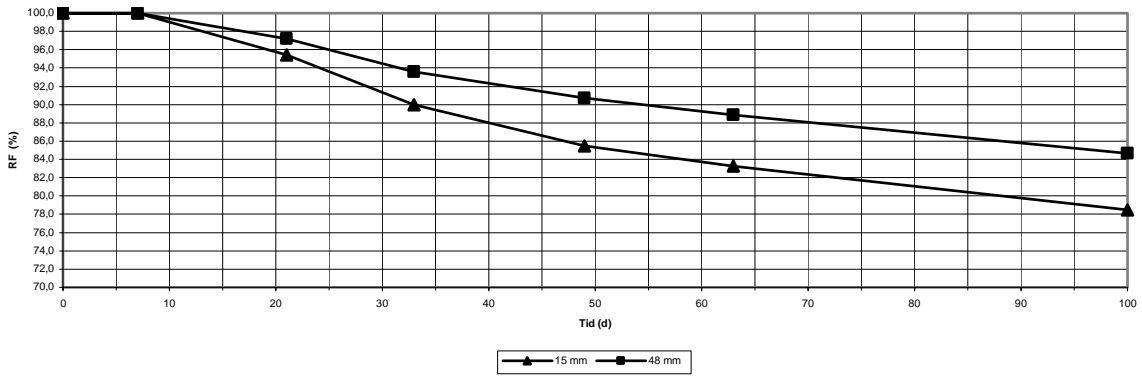
Prov nr: 5.5 vct 0,35 Referens för regnförsök					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021014	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021021	7	88,9	89,8	91,1	92,0
021028	14	82,9	86,7	87,7	90,2
021104	21	81,4	84,8	86,5	89,0
021111	28	79,9	83,8	84,3	86,2
021125	42	74,4	81,2		
021212	59	72,4	79,4		
030110	88	71,6	78,7		
030129	100	69,7	76,4		

Prov nr: 5.6 vct 0,35 Avjämningsmassa 1 mån					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021014	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021021	7	91,4	94,6	93,1	95,4
021028	14	92,4	90,8	93,8	92,7
021104	21	87,1	86,9	90,5	90,4
021111	28	85,3	85,9		
021112	29	84,3	83,7		
021118	35	82,7	82,2		
021125	42	80,5	81,6		
021202	49	78,2	81,6		
021209	56	77,7	80,7		
030110	88	75,6	79,6		
030129	100	74,0	77,8		

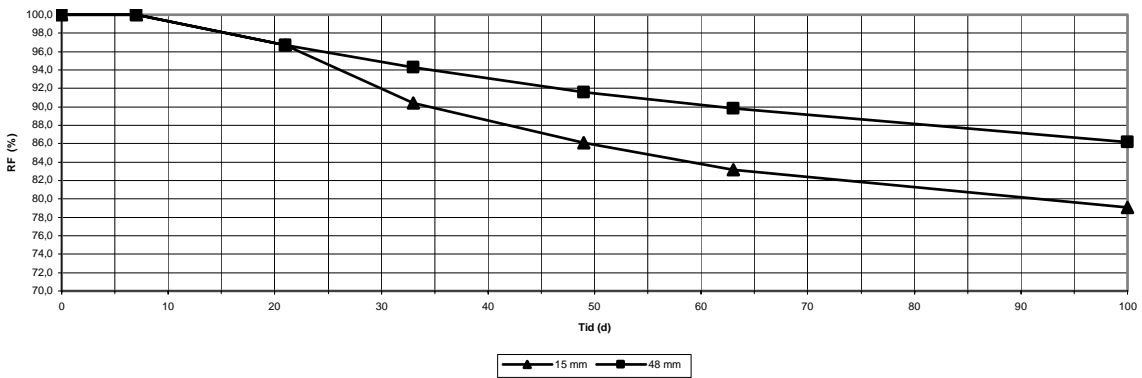
Prov nr: 5.7 vct 0,35 Avjämningsmassa 2 mån					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021014	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021021	7	90,9	91,0	92,8	92,8
021028	14	89,0	87,3	91,5	90,6
021104	21	86,2	85,4	89,8	89,3
021111	28	87,4	85,9		
021125	42	79,5	81,2		
021209	56	78,0	80,5		
021210	57	78,3	80,0		
021216	63	81,3	80,9		
030110	88	81,4	80,5		
030129	100	79,1	79,1		

Prov nr: 5.8 vct 0,35 Referens avjämningsmassa					
Datum	t (d)	RF		RF (omräknad)	
		15 mm	48 mm	15 mm	48 mm
021014	0	100,0	100,0	100,0	100,0
021021	7	89,8	95,5	92,0	96,1
021028	14	89,3	88,2	91,7	91,0
021104	21	86,1	86,0	89,8	89,7
021111	28	84,0	86,0	88,5	89,7
021125	42	77,9	81,8		
021209	56	76,3	80,6		
030110	88	75,0	78,6		
030129	100	72,3	78,1		

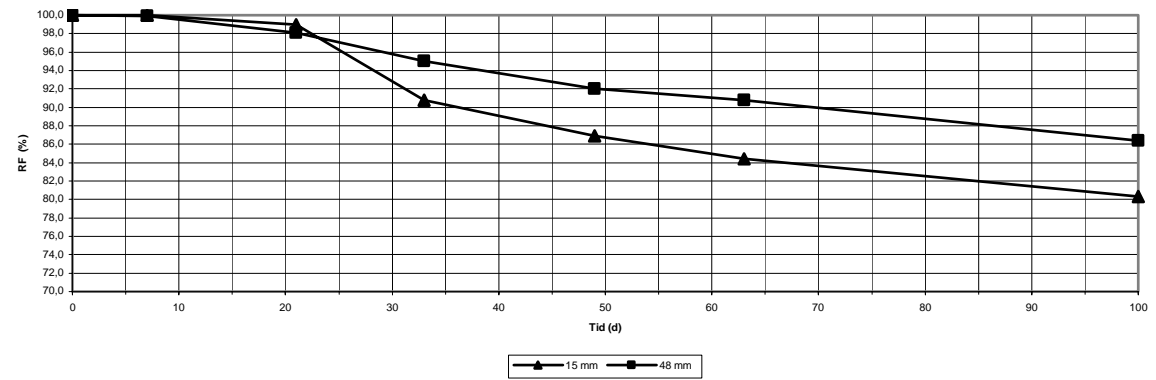
vct 0,70
Regn 1 d



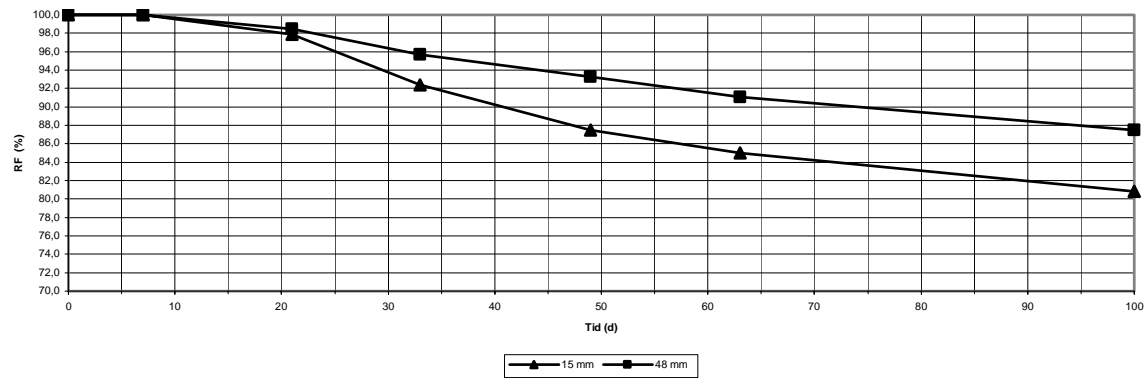
vct 0,70
Regn 2 d



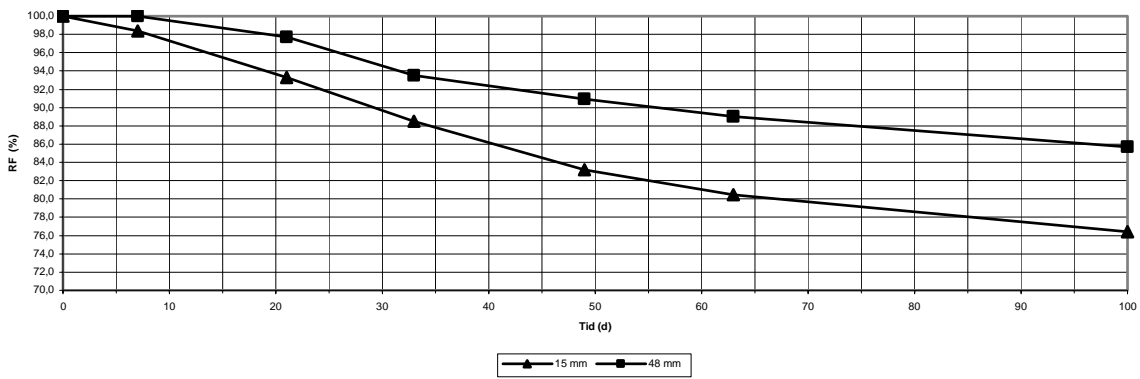
vct 0,70
Regn 4 d



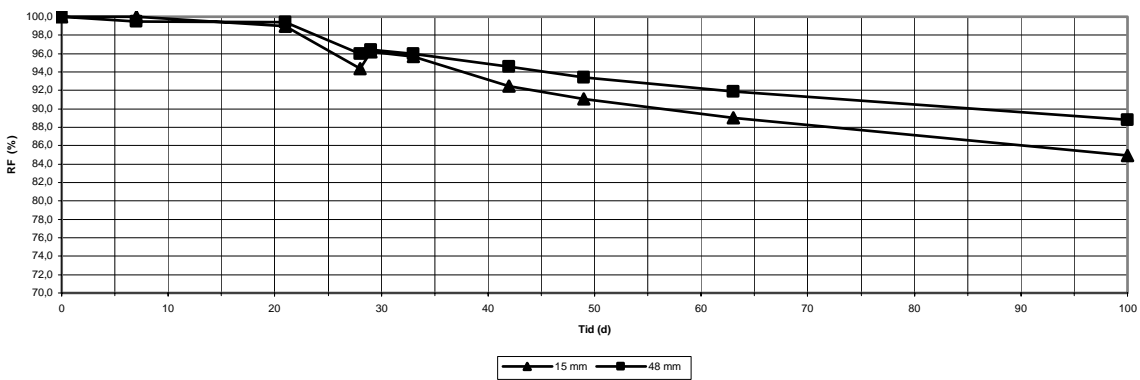
vct 0,70
Regn 7 d



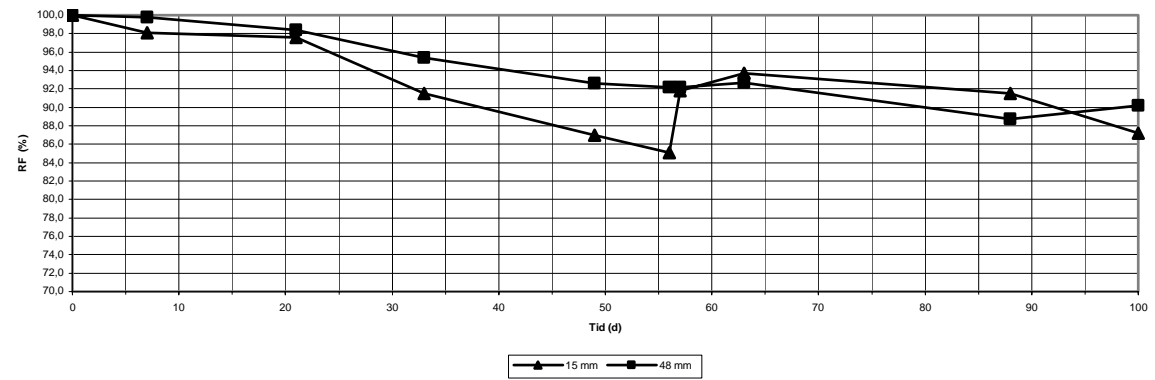
vct 0,70
Referens för regnförsök



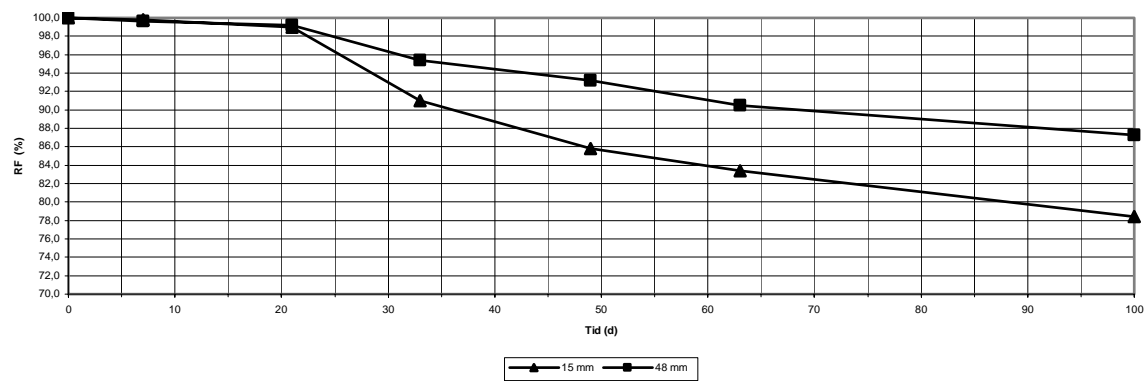
vct 0,70
Avjämningsmassa efter 1 månad



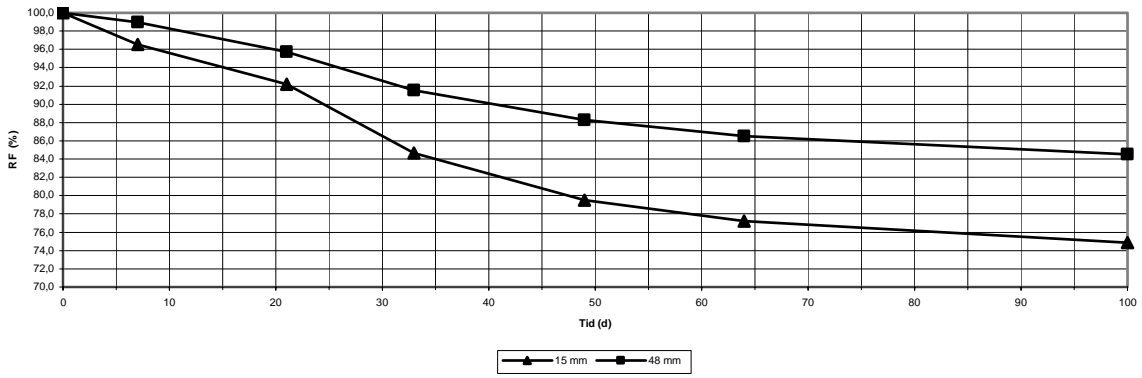
vct 0,70
Avjämningsmassa efter 2 månader



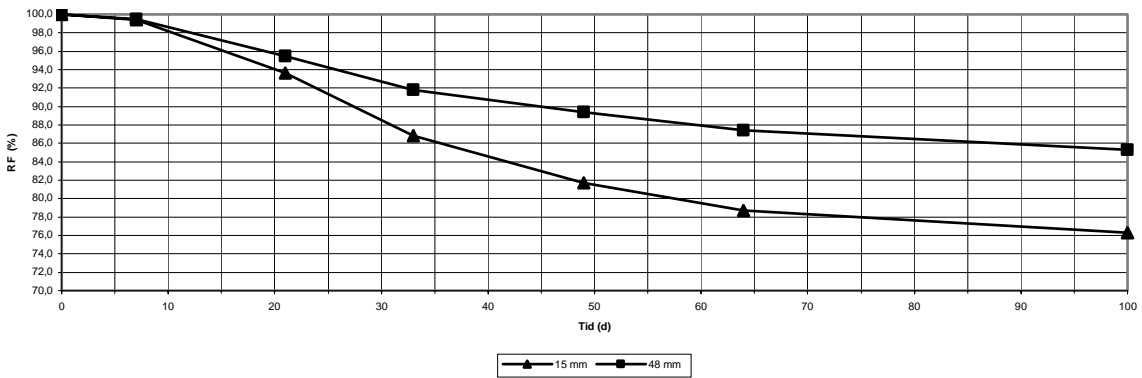
vct 0,70
Referens för avjämningsmassa



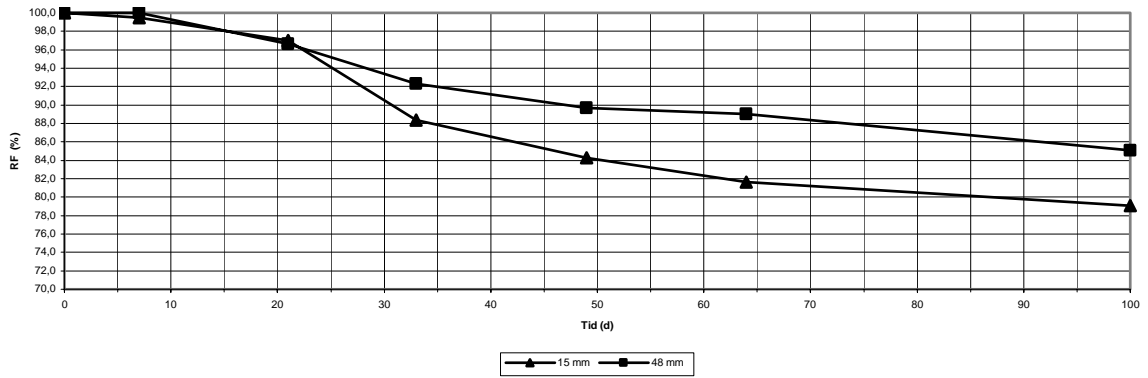
vct 0,55
Regn 1 d



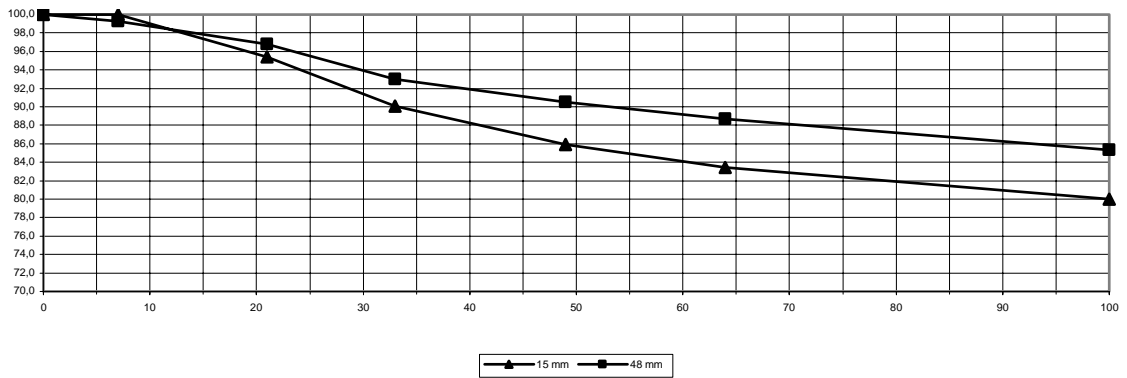
vct 0,55
Regn 2 d



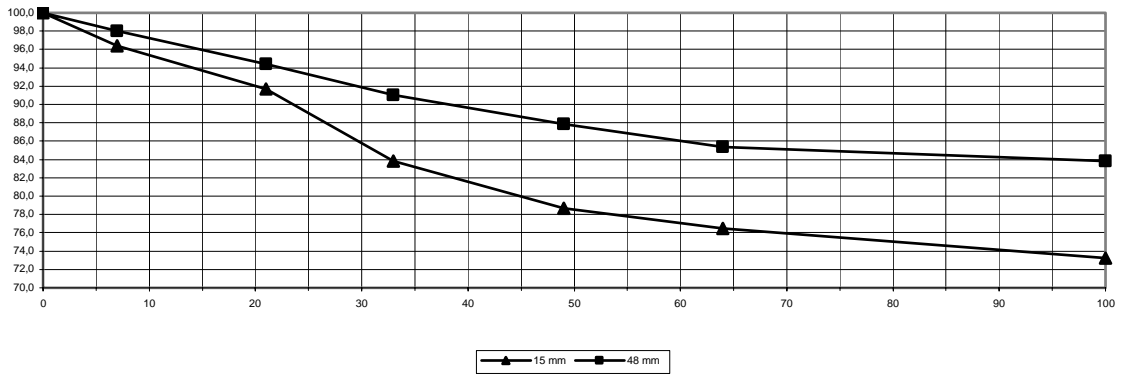
vct 0,55
Regn 4 d



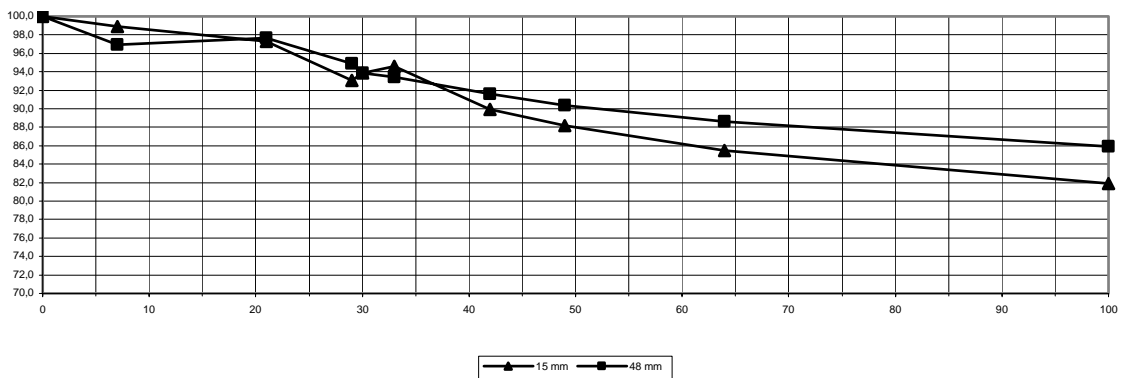
vct 0,55
Regn 7 d



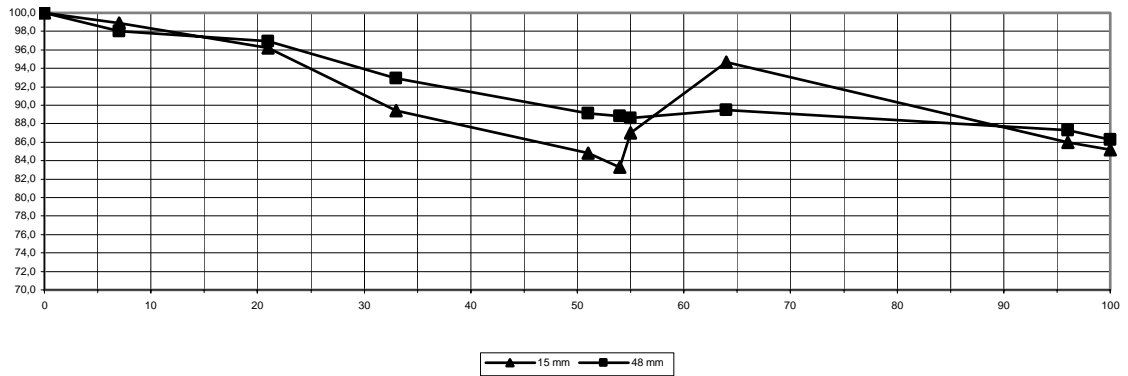
vct 0,55
Referens för regnförsök



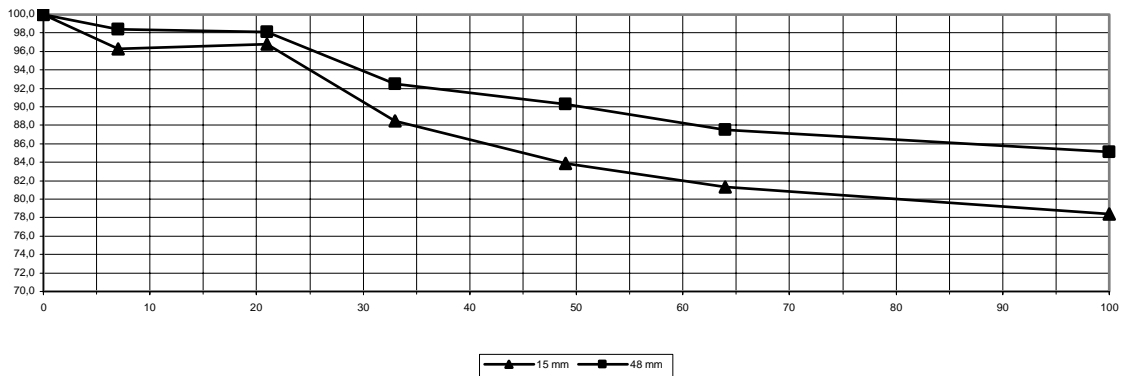
vct 0,55
Avjämningsmassa efter 1 månad



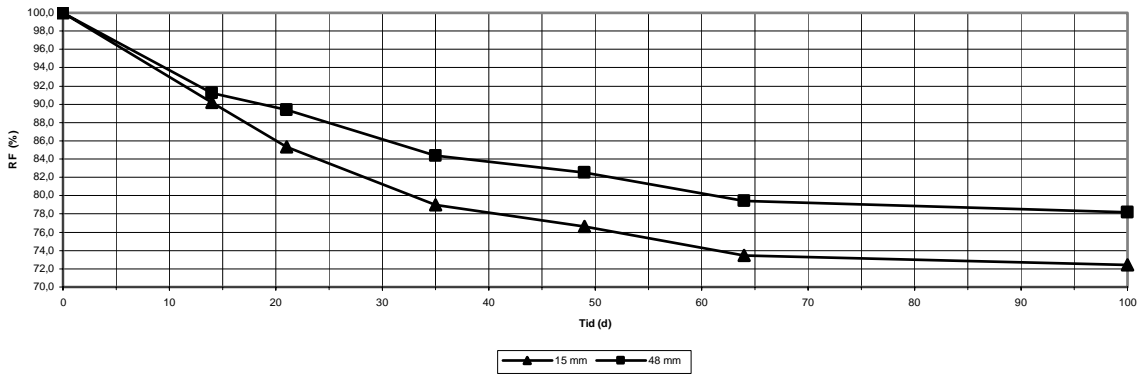
vct 0,55
Avjämningsmassa efter 2 månader



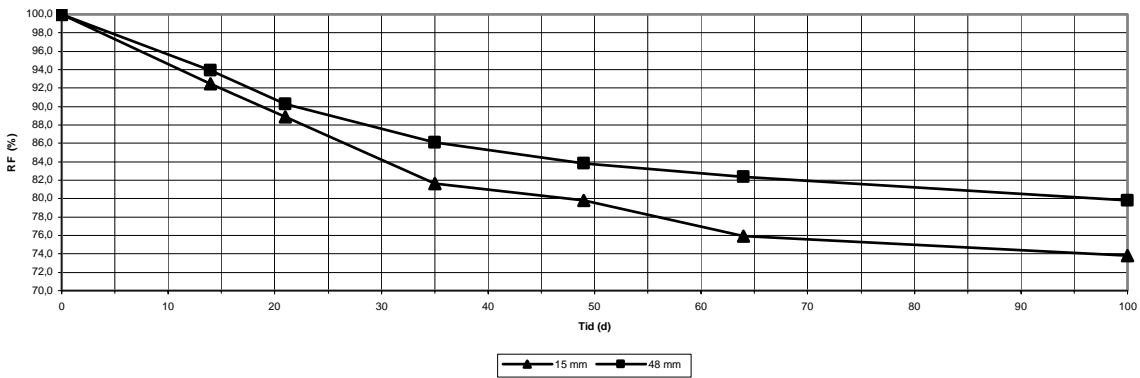
vct 0,55
Referens för avjämningsmassa



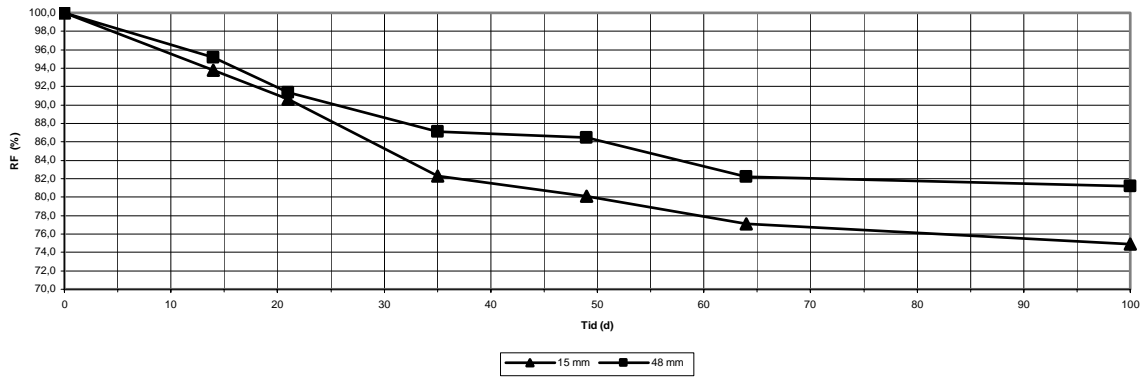
vct 0,45
Regn 1 d



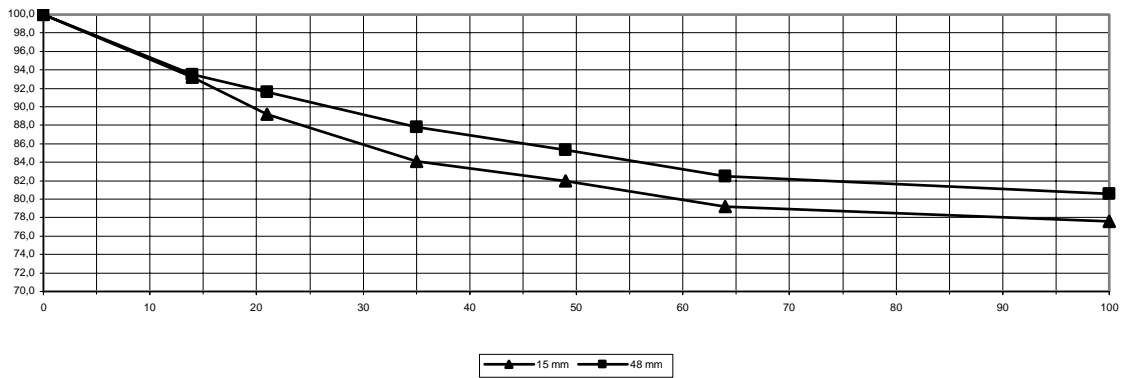
vct 0,45
Regn 2 d



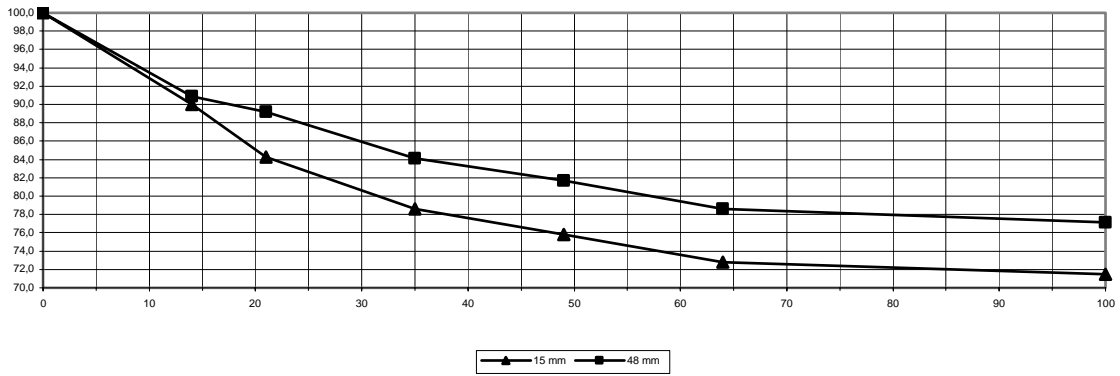
vct 0,45
Regn 4 d



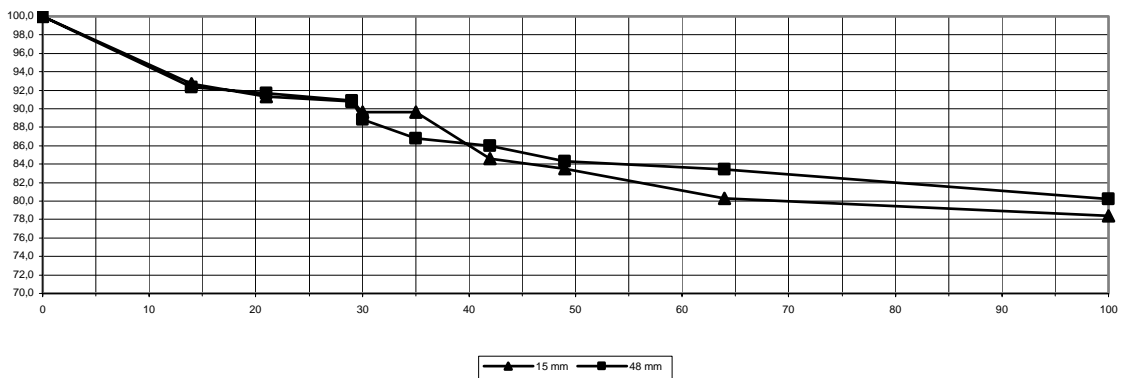
vct 0,45
Regn 7 d



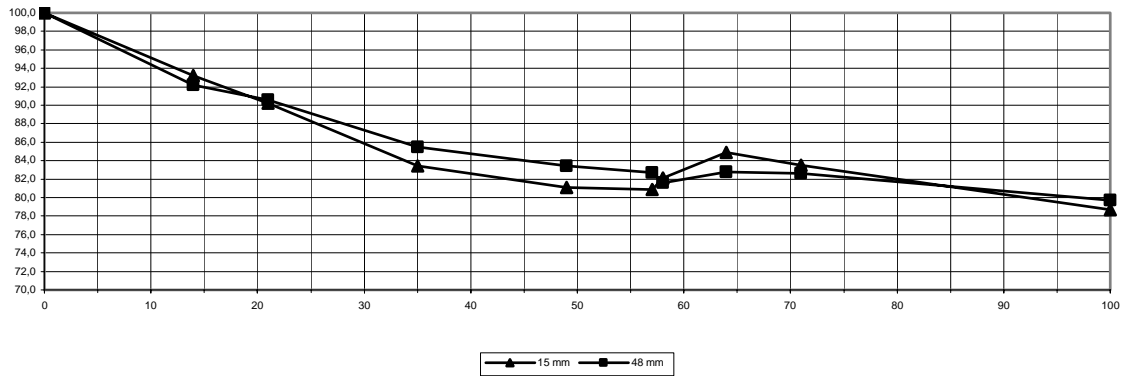
vct 0,45
Referens för regnförsök



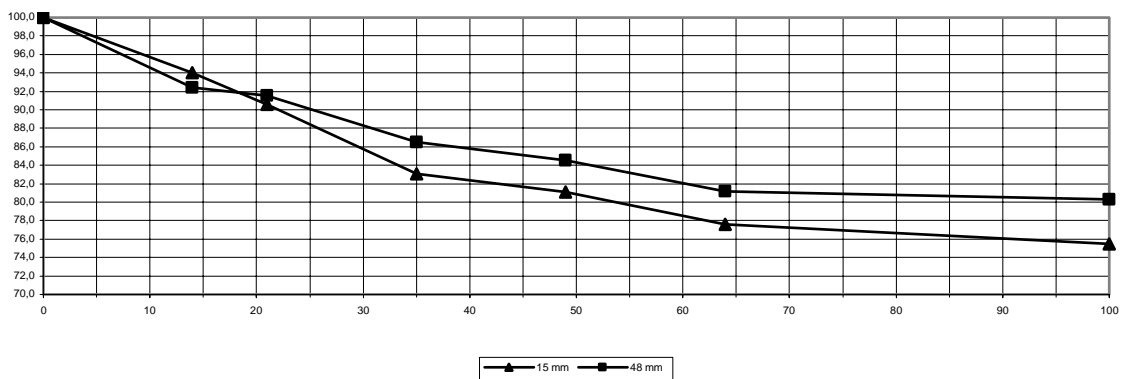
vct 0,45
Avjämningsmassa efter 1 månad



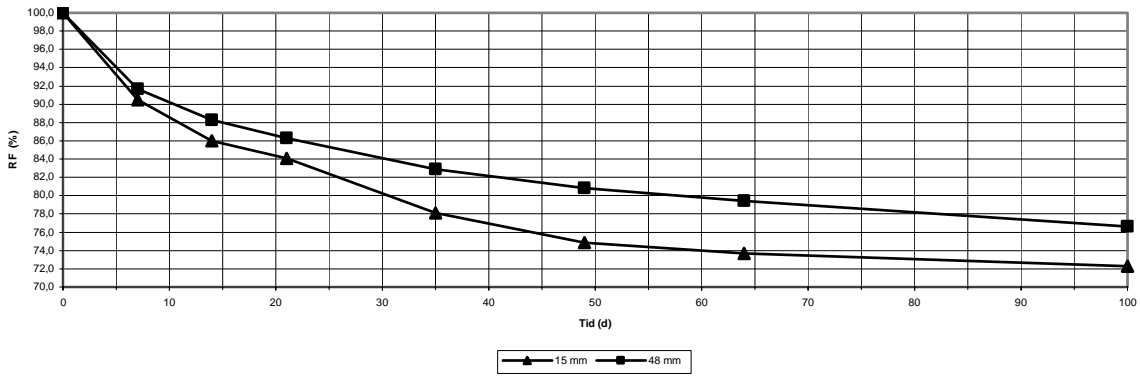
vct 0,45
Avjämningsmassa efter 2 månader



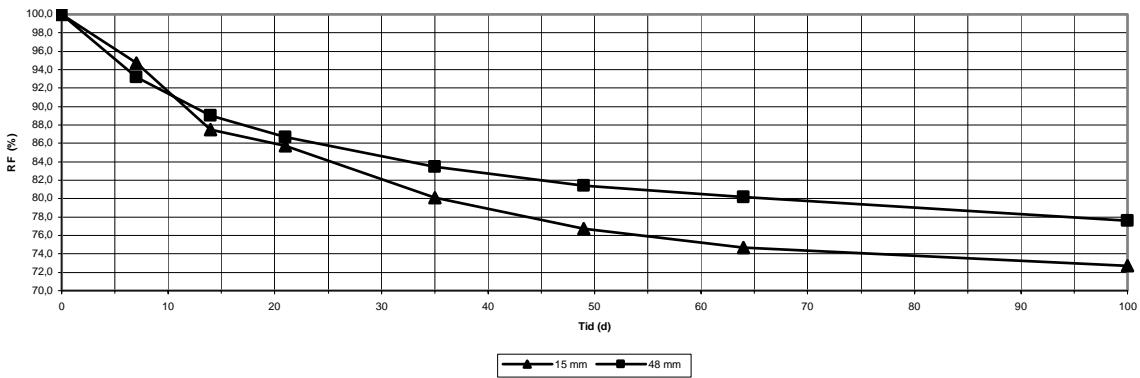
vct 0,45
Referens för avjämningsmassa



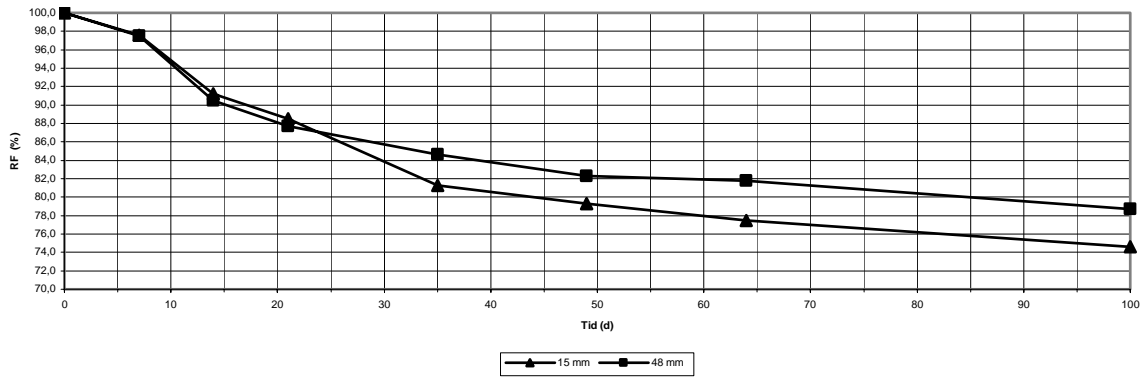
vct 0,40
Regn 1 d



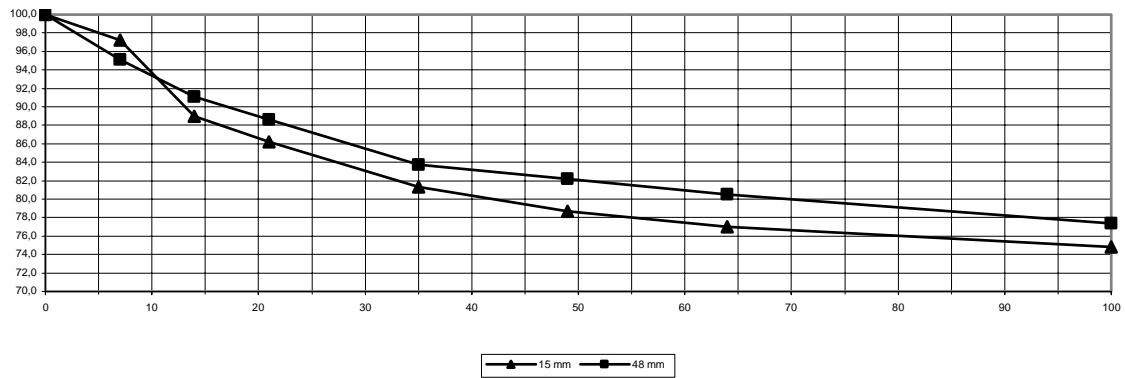
vct 0,40
Regn 2 d



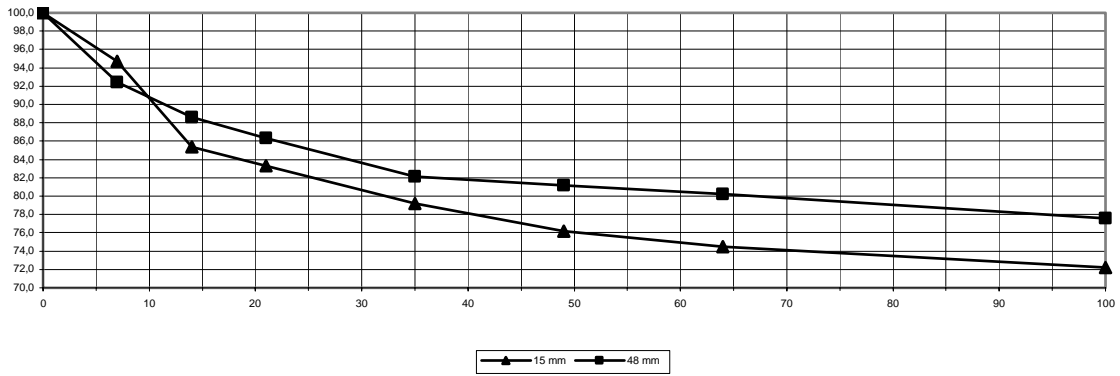
vct 0,40
Regn 4 d



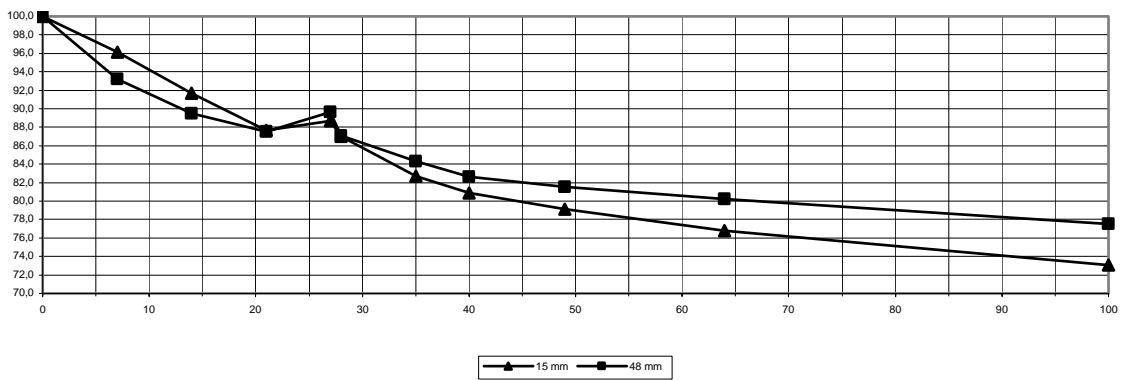
vct 0,40
Regn 7 d



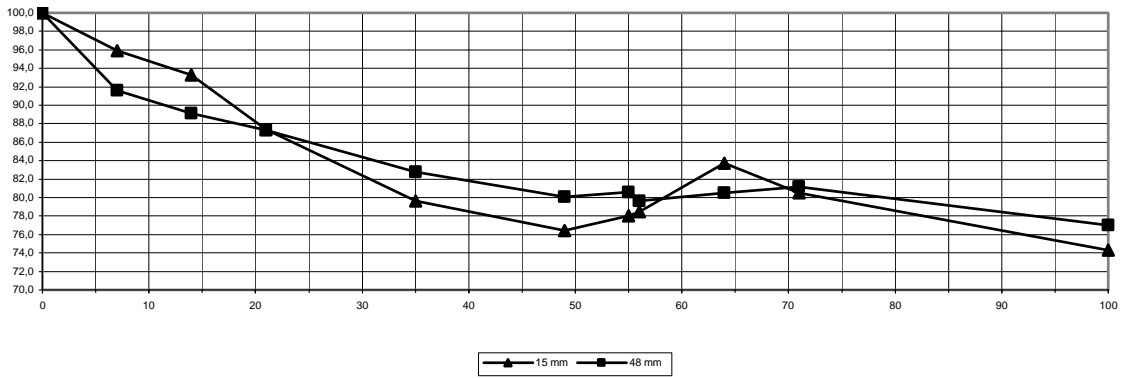
vct 0,40
Referens för regnförsök



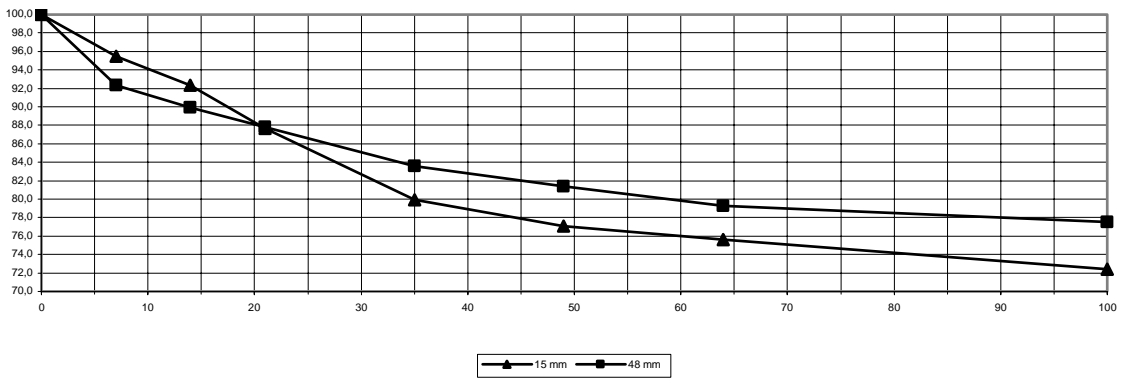
vct 0,40
Avjämningsmassa efter 1 månad



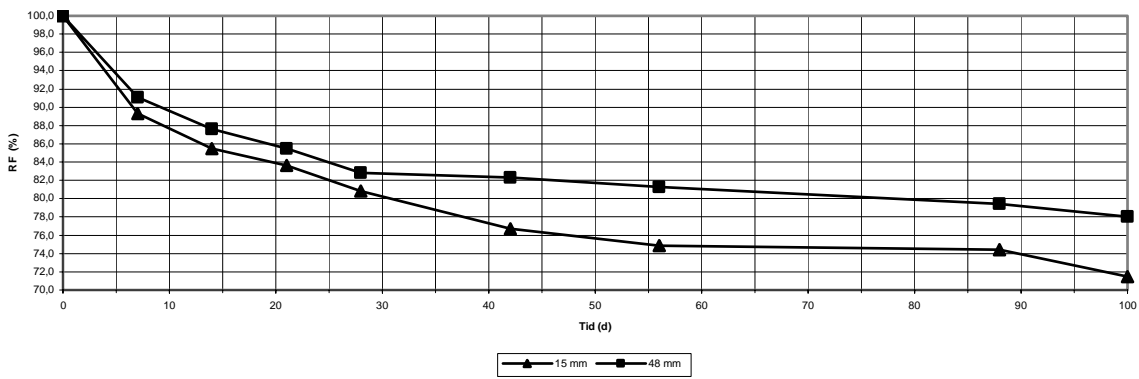
vct 0,40
Avjämningsmassa efter 2 månader



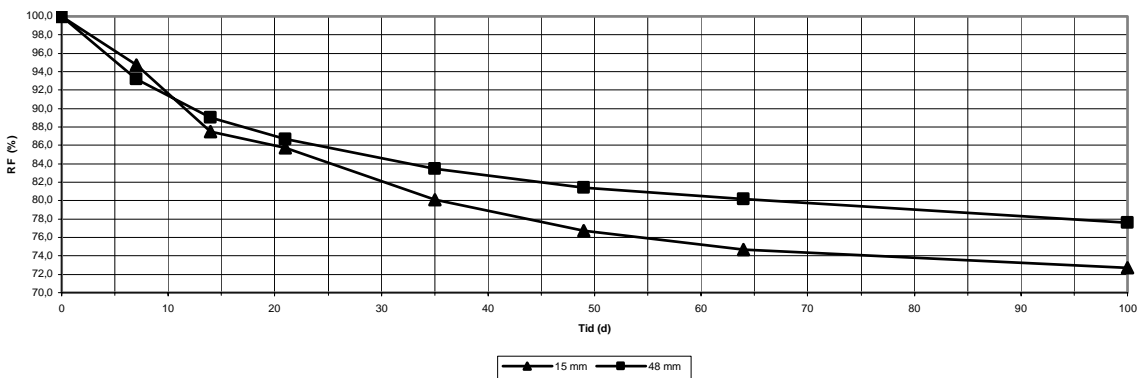
vct 0,40
Referens för avjämningsmassa



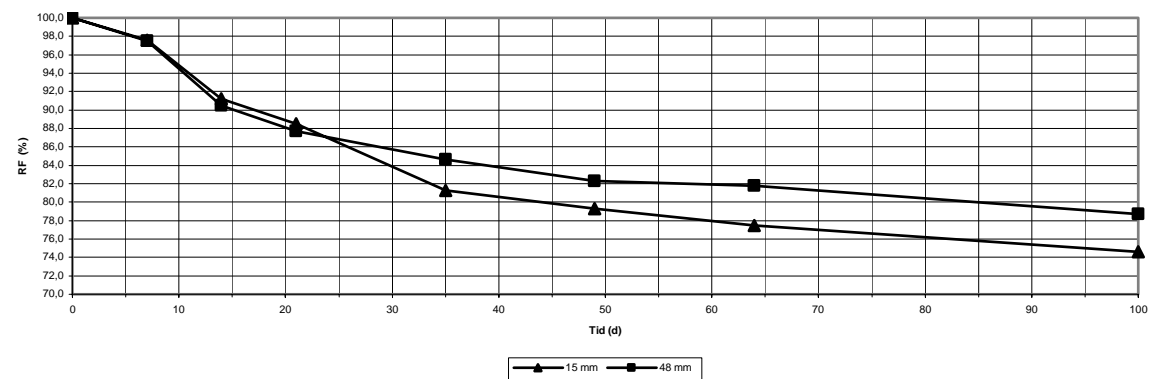
vct 0,35
Regn 1 d



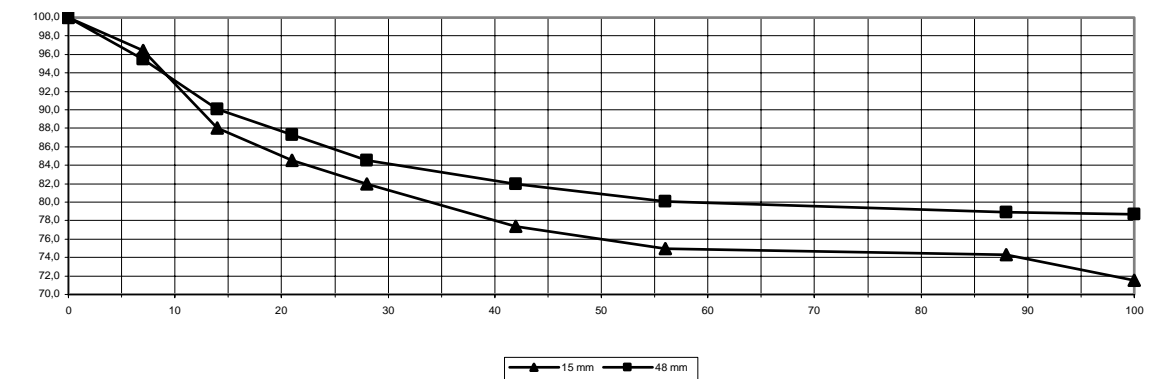
vct 0,35
Regn 2 d



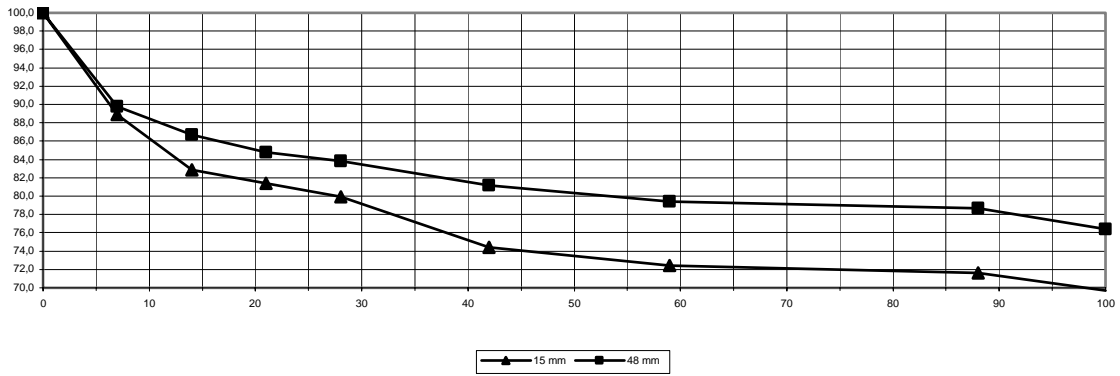
vct 0,35
Regn 4 d



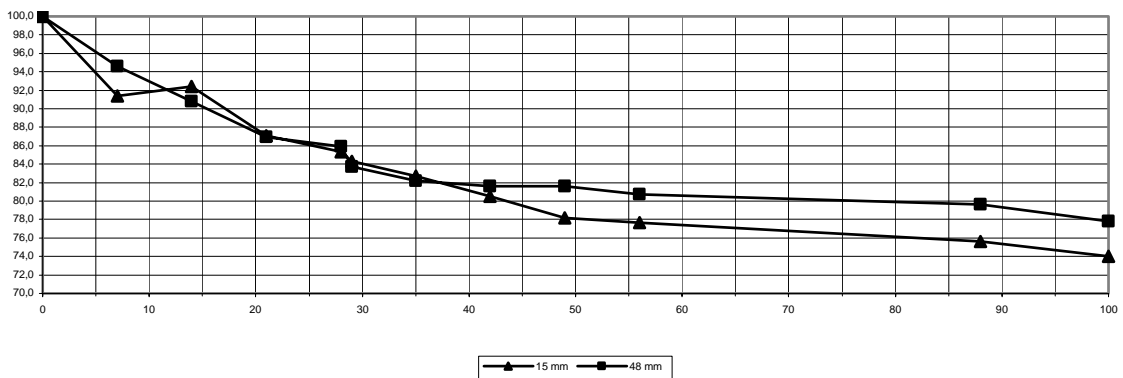
vct 0,35
Regn 7 d



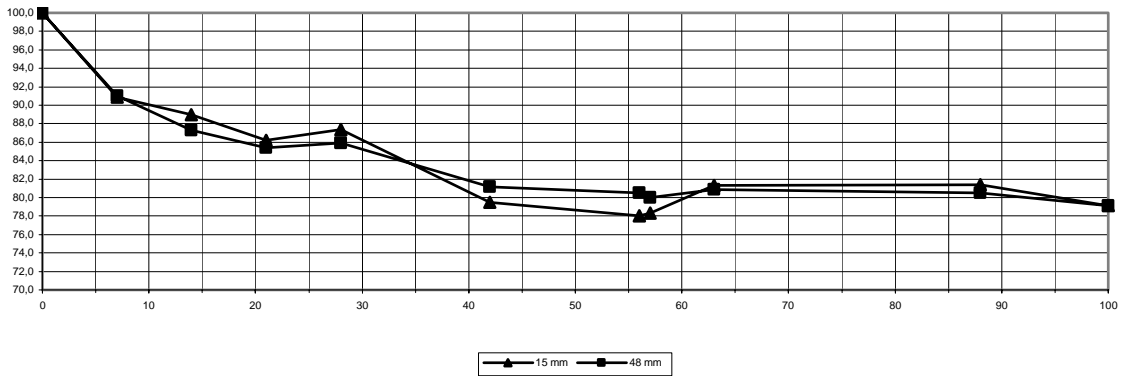
vct 0,35
Referens för regnförsök



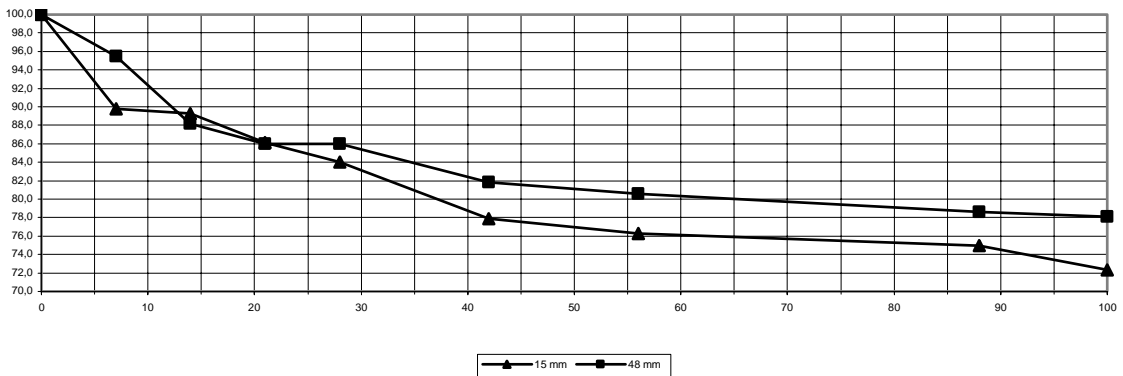
vct 0,35
Avjämningsmassa efter 1 månad



vct 0,35
Avjämningsmassa efter 2 månader



vct 0,35
Referens för avjämningsmassa



Appendix D

Resultat av uttorkningsberäkningar i TorkaS 2.0

Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 1 dygn Namn: Vct 0.35 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tät skikt

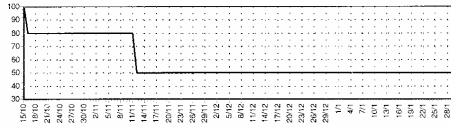
Gjutning : 14/10 2002
Tätt hus : 28/10 2002
Torkstart: 11/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



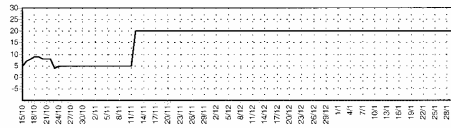
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.35
Silika: 0 %
Vattenhalt: 175 l/m³
Cementhalt: 500 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

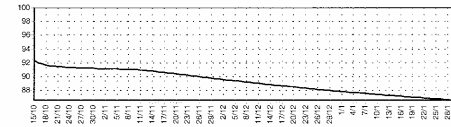


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 2 dygn Namn: Vct 0.35 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tät skikt

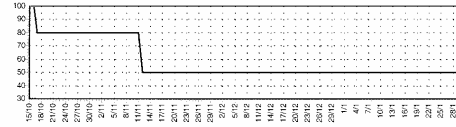
Gjutning : 14/10 2002
Tätt hus : 28/10 2002
Torkstart: 11/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



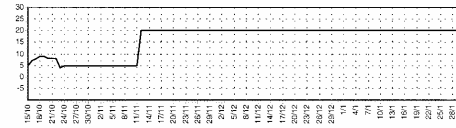
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.35
Silika: 0 %
Vattenhalt: 175 l/m³
Cementhalt: 500 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

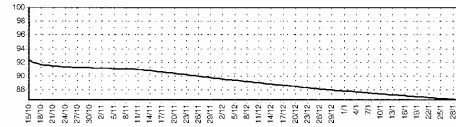


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 4 dygn Namn: Vct 0.35 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tät skikt

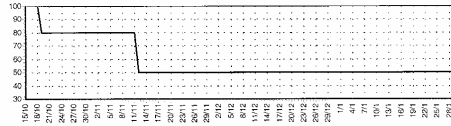
Gjutning : 14/10 2002
Tätt hus : 28/10 2002
Torkstart: 11/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



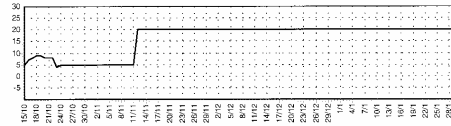
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.35
Silika: 0 %
Vattenhalt: 175 l/m³
Cementhalt: 500 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

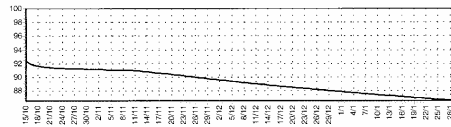


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 7 dygn Namn: Vct 0.35 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tät skikt

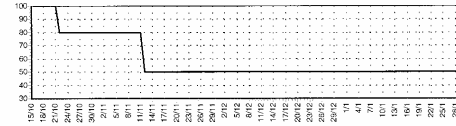
Gjutning : 14/10 2002
Tätt hus : 28/10 2002
Torkstart: 11/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



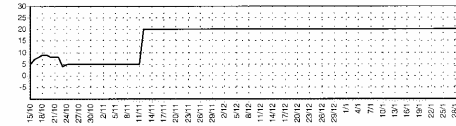
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.35
Silika: 0 %
Vattenhalt: 175 l/m³
Cementhalt: 500 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

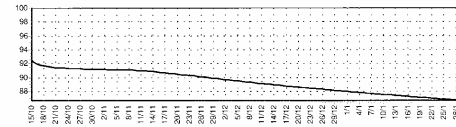


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 1 dygn Namn: Vct 0:40 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

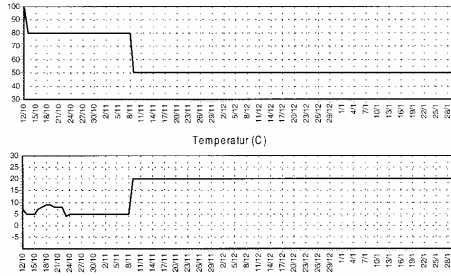
Gjutning : 11/10 2002
Tätt hus : 25/10 2002
Torkstart: 8/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.40
Silika: 0 %
Vattenhalt: 174 l/m³
Cementhalt: 435 kg/m³

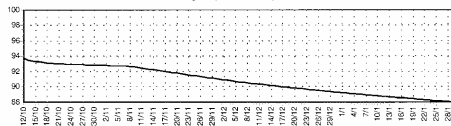
Torkklimat

Relativ fuktighet (%)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 2 dygn Namn: Vct 0:40 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

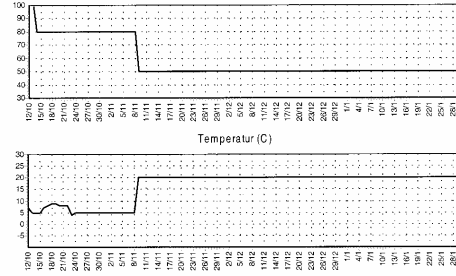
Gjutning : 11/10 2002
Tätt hus : 25/10 2002
Torkstart: 8/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.40
Silika: 0 %
Vattenhalt: 174 l/m³
Cementhalt: 435 kg/m³

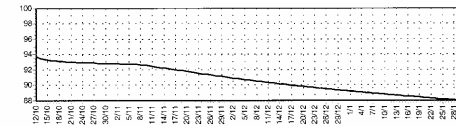
Torkklimat

Relativ fuktighet (%)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 4 dygn Namn: Vct 0:40 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

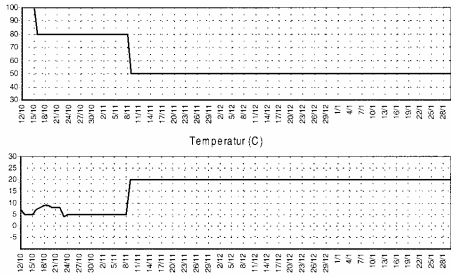
Gjutning : 11/10 2002
Tätt hus : 25/10 2002
Torkstart: 8/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.40
Silika: 0 %
Vattenhalt: 174 l/m³
Cementhalt: 435 kg/m³

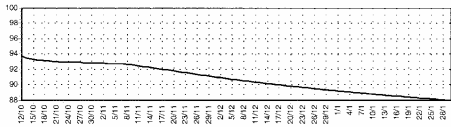
Torkklimat

Relativ fuktighet (%)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 7 dygn Namn: Vct 0:40 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

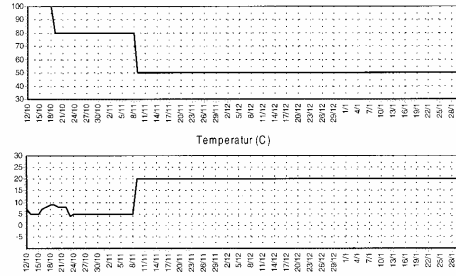
Gjutning : 11/10 2002
Tätt hus : 25/10 2002
Torkstart: 8/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.40
Silika: 0 %
Vattenhalt: 174 l/m³
Cementhalt: 435 kg/m³

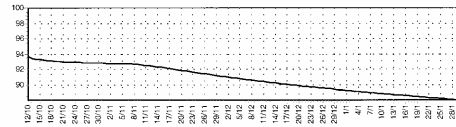
Torkklimat

Relativ fuktighet (%)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 1 dygn Namn: Vct 0.45 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

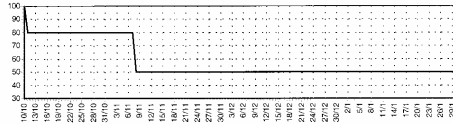
Gjutning : 9/10 2002
Tätt hus : 23/10 2002
Torkstart : 6/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



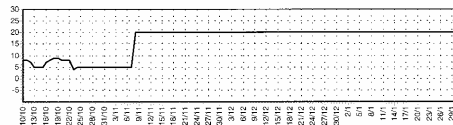
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.45
Silika: 0 %
Vattenhalt: 180 l/m³
Cementhalt: 400 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

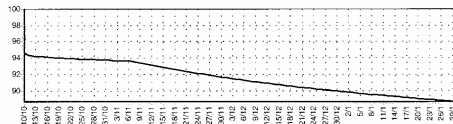


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 2 dygn Namn: Vct 0.45 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

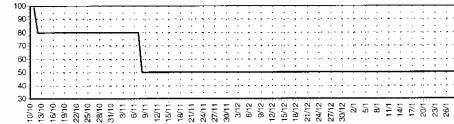
Gjutning : 9/10 2002
Tätt hus : 23/10 2002
Torkstart : 6/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



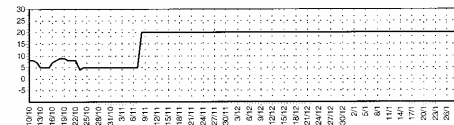
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.45
Silika: 0 %
Vattenhalt: 180 l/m³
Cementhalt: 400 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

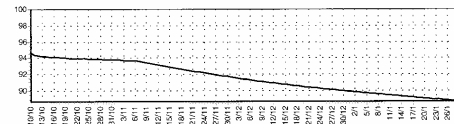


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 4 dygn Namn: Vct 0.45 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

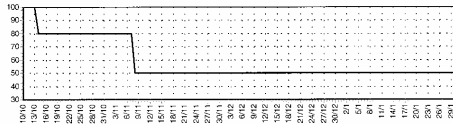
Gjutning : 9/10 2002
Tätt hus : 23/10 2002
Torkstart : 6/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



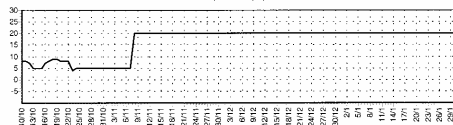
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.45
Silika: 0 %
Vattenhalt: 180 l/m³
Cementhalt: 400 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

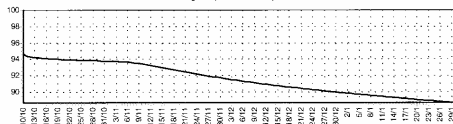


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 7 dygn Namn: Vct 0.45 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

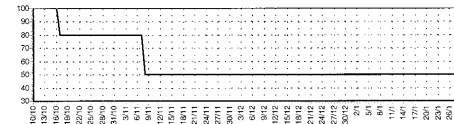
Gjutning : 9/10 2002
Tätt hus : 23/10 2002
Torkstart : 6/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



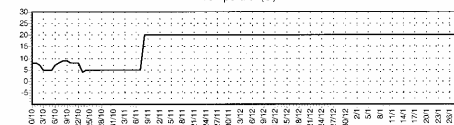
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.45
Silika: 0 %
Vattenhalt: 180 l/m³
Cementhalt: 400 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

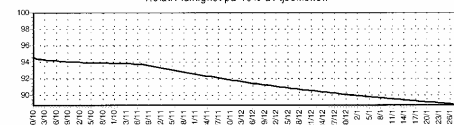


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 1 dygn Namn: Vct 0.55 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

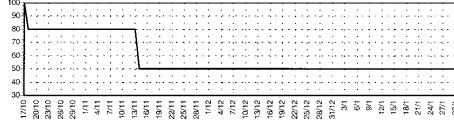
Gjutning : 16/10 2002
Tätt hus : 30/10 2002
Torkstart : 13/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



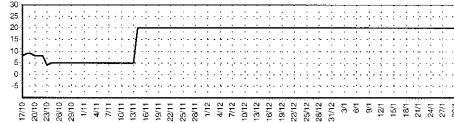
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.55
Silika: 0 %
Vattenhalt: 185 lm3
Cementhalt: 336 kg/m3

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

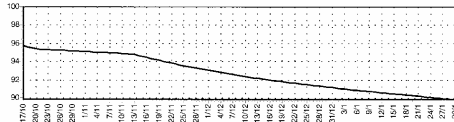


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 2 dygn Namn: Vct 0.55 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

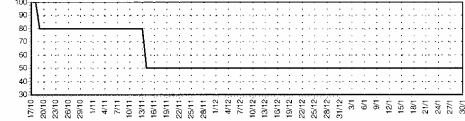
Gjutning : 16/10 2002
Tätt hus : 30/10 2002
Torkstart : 13/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



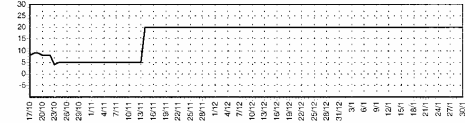
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.55
Silika: 0 %
Vattenhalt: 185 lm3
Cementhalt: 336 kg/m3

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

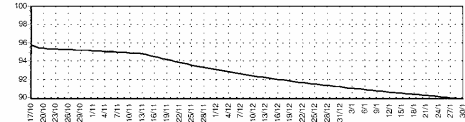


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 4 dygn Namn: Vct 0.55 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

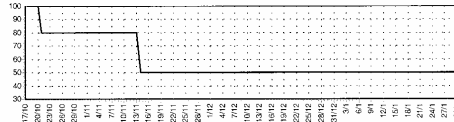
Gjutning : 16/10 2002
Tätt hus : 30/10 2002
Torkstart : 13/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



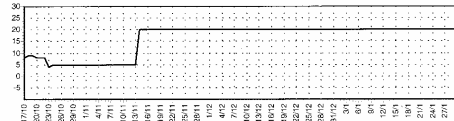
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.55
Silika: 0 %
Vattenhalt: 185 lm3
Cementhalt: 336 kg/m3

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

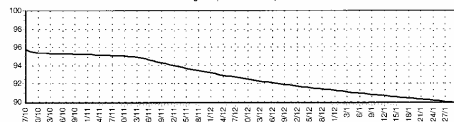


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 7 dygn Namn: Vct 0.55 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

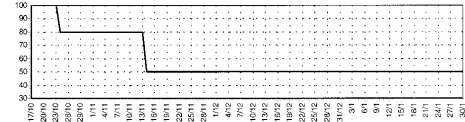
Gjutning : 16/10 2002
Tätt hus : 30/10 2002
Torkstart : 13/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



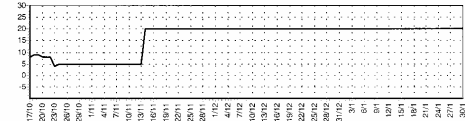
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0.55
Silika: 0 %
Vattenhalt: 185 lm3
Cementhalt: 336 kg/m3

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

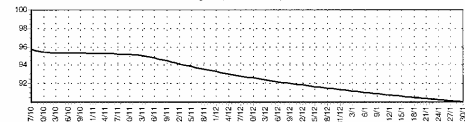


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 1 dygn Namn: Vct 0.70 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

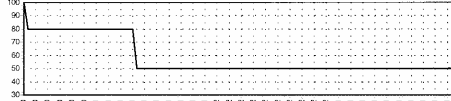
Gjutning : 14/10 2002
Tätt hus : 28/10 2002
Torkstart : 11/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



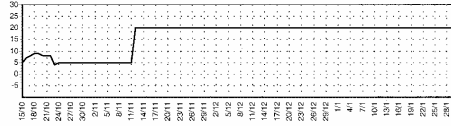
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0,70
Silika: 0 %
Vattenhalt: 182 l/m³
Cementhalt: 260 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

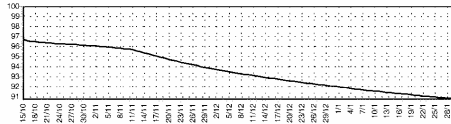


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 2 dygn Namn: Vct 0.70 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

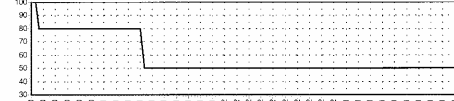
Gjutning : 14/10 2002
Tätt hus : 28/10 2002
Torkstart : 11/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



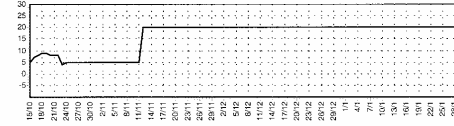
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0,70
Silika: 0 %
Vattenhalt: 182 l/m³
Cementhalt: 260 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

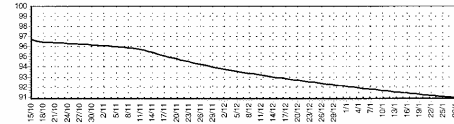


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 4 dygn Namn: Vct 0.70 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

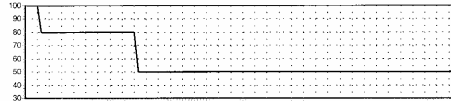
Gjutning : 14/10 2002
Tätt hus : 28/10 2002
Torkstart : 11/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



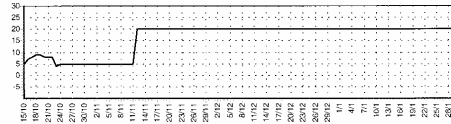
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0,70
Silika: 0 %
Vattenhalt: 182 l/m³
Cementhalt: 260 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

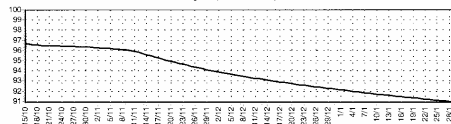


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Regn 7 dygn Namn: Vct 0.70 Företag: - 2002-11-05

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tättskikt

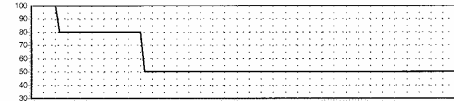
Gjutning : 14/10 2002
Tätt hus : 28/10 2002
Torkstart : 11/11 2002
Slutdatum : 31/1 2003
Ort : Sturup



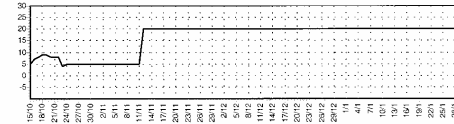
Betongtjocklek: 12 cm
Vct: 0,70
Silika: 0 %
Vattenhalt: 182 l/m³
Cementhalt: 260 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)



Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken

