



RF-mätning i borrhål i betong med lågt vct

SBUF-projekt 11677

Ted Rapp, Sveriges Byggindustrier, 2006

Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Borrhålmätning
i betong med lågt vct 035

Namn: Ted Rapp

Företag: Sveriges
Byggindustrier

2006-08-25

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tätt skikt

Gjutning : 22/4 2004

Betongtjocklek: 15 cm

Tätt hus : 21/4 2005

Vct: 0,35

Torkstart : 21/4 2005

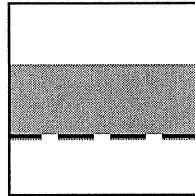
Silika: 0 %

Slutdatum : 7/6 2005

Vattenhalt: 184 l/m³

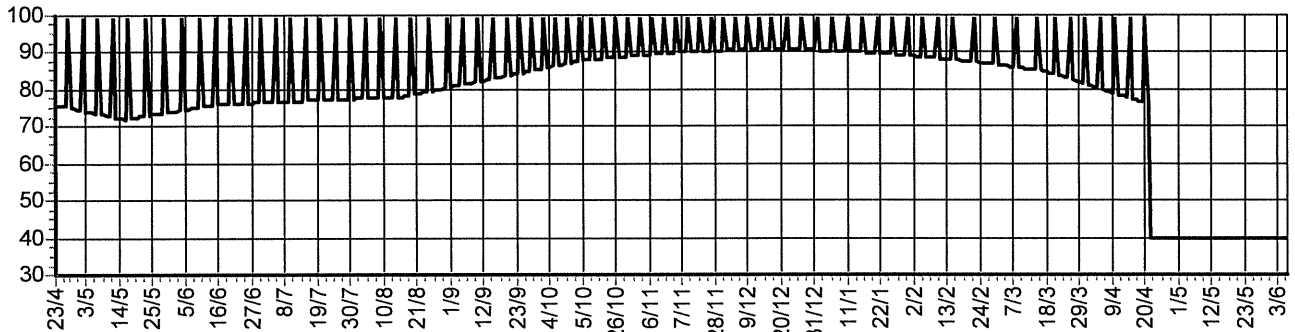
Ort : Sturup

Cementhalt: 526 kg/m³

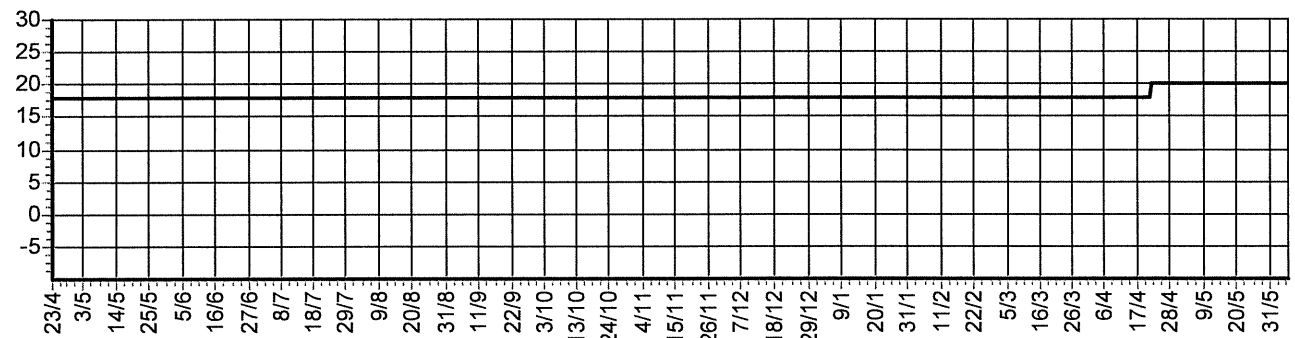


Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

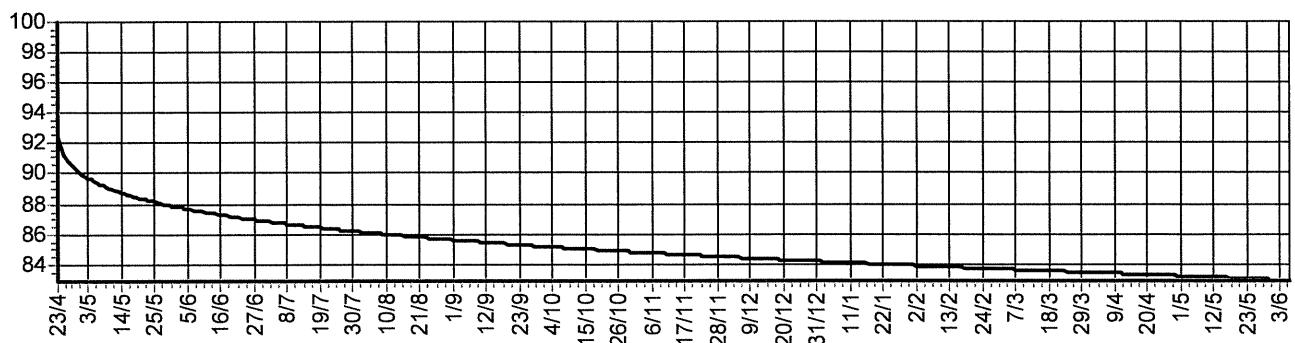


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Borrhålmätning
i betong med lågt vct 035

Namn: Ted Rapp

Företag: Sveriges
Byggindustrier

2006-08-25

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken

23/4	92	27/6	87	31/8	86	4/11	85	8/1	84	14/3	84	18/5	83
24/4	92	28/6	87	1/9	86	5/11	85	9/1	84	15/3	84	19/5	83
25/4	91	29/6	87	2/9	86	6/11	85	10/1	84	16/3	84	20/5	83
26/4	91	30/6	87	3/9	86	7/11	85	11/1	84	17/3	84	21/5	83
27/4	91	1/7	87	4/9	86	8/11	85	12/1	84	18/3	84	22/5	83
28/4	90	2/7	87	5/9	86	9/11	85	13/1	84	19/3	84	23/5	83
29/4	90	3/7	87	6/9	86	10/11	85	14/1	84	20/3	84	24/5	83
30/4	90	4/7	87	7/9	86	11/11	85	15/1	84	21/3	84	25/5	83
1/5	90	5/7	87	8/9	86	12/11	85	16/1	84	22/3	84	26/5	83
2/5	90	6/7	87	9/9	85	13/11	85	17/1	84	23/3	84	27/5	83
3/5	90	7/7	87	10/9	85	14/11	85	18/1	84	24/3	84	28/5	83
4/5	90	8/7	87	11/9	85	15/11	85	19/1	84	25/3	83	29/5	83
5/5	90	9/7	87	12/9	85	16/11	85	20/1	84	26/3	83	30/5	83
6/5	89	10/7	87	13/9	85	17/11	85	21/1	84	27/3	83	31/5	83
7/5	89	11/7	87	14/9	85	18/11	85	22/1	84	28/3	83	1/6	83
8/5	89	12/7	87	15/9	85	19/11	85	23/1	84	29/3	83	2/6	83
9/5	89	13/7	87	16/9	85	20/11	85	24/1	84	30/3	83	3/6	83
10/5	89	14/7	87	17/9	85	21/11	85	25/1	84	31/3	83	4/6	83
11/5	89	15/7	87	18/9	85	22/11	85	26/1	84	1/4	83	5/6	83
12/5	89	16/7	86	19/9	85	23/11	85	27/1	84	2/4	83	6/6	83
13/5	89	17/7	86	20/9	85	24/11	85	28/1	84	3/4	83		
14/5	89	18/7	86	21/9	85	25/11	85	29/1	84	4/4	83		
15/5	89	19/7	86	22/9	85	26/11	85	30/1	84	5/4	83		
16/5	89	20/7	86	23/9	85	27/11	85	31/1	84	6/4	83		
17/5	89	21/7	86	24/9	85	28/11	85	1/2	84	7/4	83		
18/5	89	22/7	86	25/9	85	29/11	84	2/2	84	8/4	83		
19/5	88	23/7	86	26/9	85	30/11	84	3/2	84	9/4	83		
20/5	88	24/7	86	27/9	85	1/12	84	4/2	84	10/4	83		
21/5	88	25/7	86	28/9	85	2/12	84	5/2	84	11/4	83		
22/5	88	26/7	86	29/9	85	3/12	84	6/2	84	12/4	83		
23/5	88	27/7	86	30/9	85	4/12	84	7/2	84	13/4	83		
24/5	88	28/7	86	1/10	85	5/12	84	8/2	84	14/4	83		
25/5	88	29/7	86	2/10	85	6/12	84	9/2	84	15/4	83		
26/5	88	30/7	86	3/10	85	7/12	84	10/2	84	16/4	83		
27/5	88	31/7	86	4/10	85	8/12	84	11/2	84	17/4	83		
28/5	88	1/8	86	5/10	85	9/12	84	12/2	84	18/4	83		
29/5	88	2/8	86	6/10	85	10/12	84	13/2	84	19/4	83		
30/5	88	3/8	86	7/10	85	11/12	84	14/2	84	20/4	83		
31/5	88	4/8	86	8/10	85	12/12	84	15/2	84	21/4	83		
1/6	88	5/8	86	9/10	85	13/12	84	16/2	84	22/4	83		
2/6	88	6/8	86	10/10	85	14/12	84	17/2	84	23/4	83		
3/6	88	7/8	86	11/10	85	15/12	84	18/2	84	24/4	83		
4/6	88	8/8	86	12/10	85	16/12	84	19/2	84	25/4	83		
5/6	88	9/8	86	13/10	85	17/12	84	20/2	84	26/4	83		
6/6	88	10/8	86	14/10	85	18/12	84	21/2	84	27/4	83		
7/6	88	11/8	86	15/10	85	19/12	84	22/2	84	28/4	83		
8/6	88	12/8	86	16/10	85	20/12	84	23/2	84	29/4	83		
9/6	88	13/8	86	17/10	85	21/12	84	24/2	84	30/4	83		
10/6	87	14/8	86	18/10	85	22/12	84	25/2	84	1/5	83		
11/6	87	15/8	86	19/10	85	23/12	84	26/2	84	2/5	83		
12/6	87	16/8	86	20/10	85	24/12	84	27/2	84	3/5	83		
13/6	87	17/8	86	21/10	85	25/12	84	28/2	84	4/5	83		
14/6	87	18/8	86	22/10	85	26/12	84	1/3	84	5/5	83		
15/6	87	19/8	86	23/10	85	27/12	84	2/3	84	6/5	83		
16/6	87	20/8	86	24/10	85	28/12	84	3/3	84	7/5	83		
17/6	87	21/8	86	25/10	85	29/12	84	4/3	84	8/5	83		
18/6	87	22/8	86	26/10	85	30/12	84	5/3	84	9/5	83		
19/6	87	23/8	86	27/10	85	31/12	84	6/3	84	10/5	83		
20/6	87	24/8	86	28/10	85	1/1	84	7/3	84	11/5	83		
21/6	87	25/8	86	29/10	85	2/1	84	8/3	84	12/5	83		
22/6	87	26/8	86	30/10	85	3/1	84	9/3	84	13/5	83		
23/6	87	27/8	86	31/10	85	4/1	84	10/3	84	14/5	83		
24/6	87	28/8	86	1/11	85	5/1	84	11/3	84	15/5	83		
25/6	87	29/8	86	2/11	85	6/1	84	12/3	84	16/5	83		
26/6	87	30/8	86	3/11	85	7/1	84	13/3	84	17/5	83		

Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Borrhålmätning
i betong med lågt vct 038

Namn: Ted Rapp

Företag: Sveriges
Byggindustrier

2006-08-25

Förutsättningar

Platta på mark med underliggande tätt skikt

Gjutning : 22/4 2004

Betongtjocklek: 15 cm

Tätt hus : 21/4 2005

Vct: 0,38

Torkstart : 21/4 2005

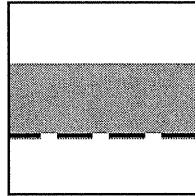
Silika: 0 %

Slutdatum : 7/6 2005

Vattenhalt: 200 l/m³

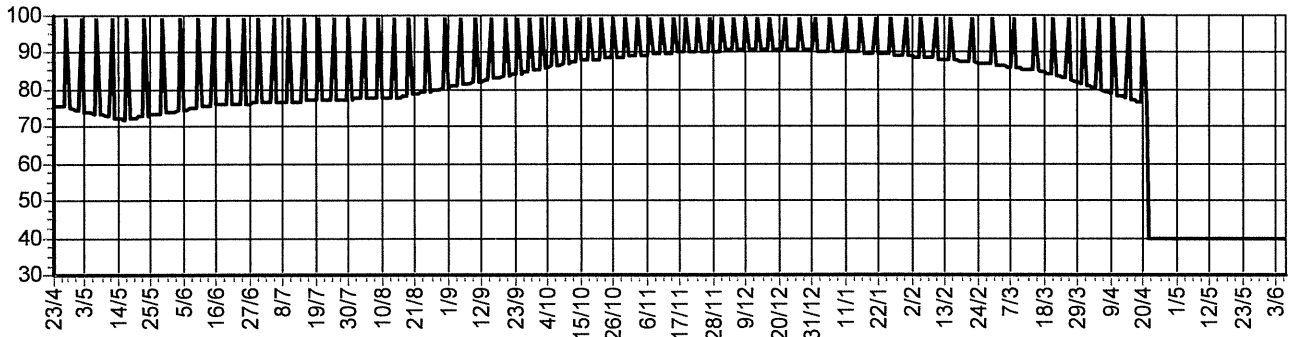
Ort : Sturup

Cementhalt: 526 kg/m³

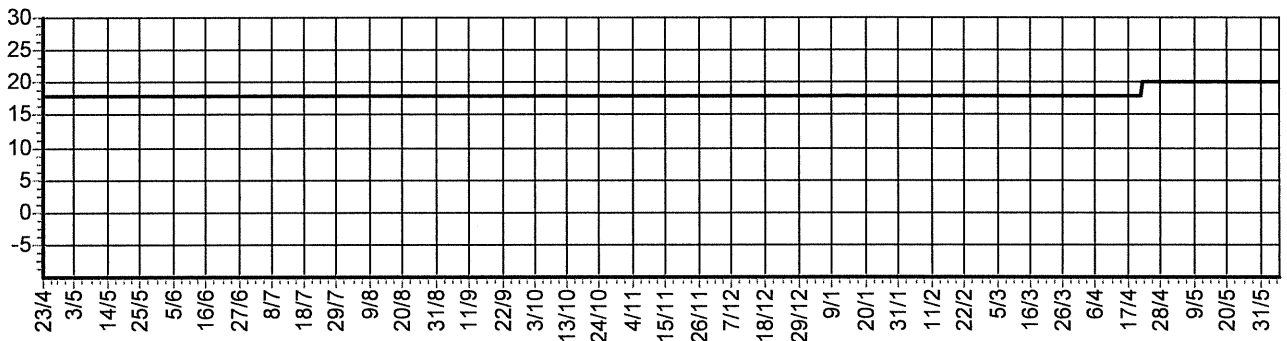


Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

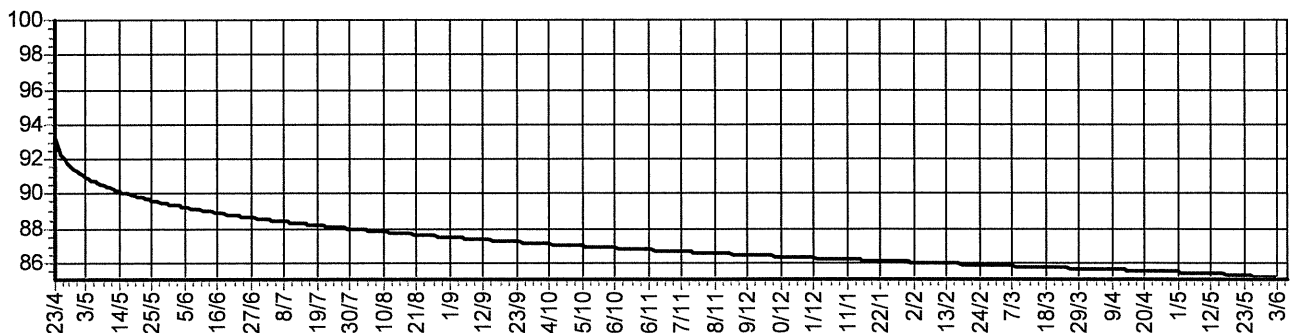


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: Borrhålsmätning
i betong med lågt vct 038

Namn: Ted Rapp

Företag: Sveriges
Byggindustrier

2006-08-25

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken

23/4	93	27/6	89	31/8	88	4/11	87	8/1	86	14/3	86	18/5	85
24/4	93	28/6	89	1/9	88	5/11	87	9/1	86	15/3	86	19/5	85
25/4	92	29/6	89	2/9	87	6/11	87	10/1	86	16/3	86	20/5	85
26/4	92	30/6	89	3/9	87	7/11	87	11/1	86	17/3	86	21/5	85
27/4	92	1/7	89	4/9	87	8/11	87	12/1	86	18/3	86	22/5	85
28/4	92	2/7	89	5/9	87	9/11	87	13/1	86	19/3	86	23/5	85
29/4	91	3/7	89	6/9	87	10/11	87	14/1	86	20/3	86	24/5	85
30/4	91	4/7	88	7/9	87	11/11	87	15/1	86	21/3	86	25/5	85
1/5	91	5/7	88	8/9	87	12/11	87	16/1	86	22/3	86	26/5	85
2/5	91	6/7	88	9/9	87	13/11	87	17/1	86	23/3	86	27/5	85
3/5	91	7/7	88	10/9	87	14/11	87	18/1	86	24/3	86	28/5	85
4/5	91	8/7	88	11/9	87	15/11	87	19/1	86	25/3	86	29/5	85
5/5	91	9/7	88	12/9	87	16/11	87	20/1	86	26/3	86	30/5	85
6/5	91	10/7	88	13/9	87	17/11	87	21/1	86	27/3	86	31/5	85
7/5	91	11/7	88	14/9	87	18/11	87	22/1	86	28/3	86	1/6	85
8/5	91	12/7	88	15/9	87	19/11	87	23/1	86	29/3	86	2/6	85
9/5	90	13/7	88	16/9	87	20/11	87	24/1	86	30/3	86	3/6	85
10/5	90	14/7	88	17/9	87	21/11	87	25/1	86	31/3	86	4/6	85
11/5	90	15/7	88	18/9	87	22/11	87	26/1	86	1/4	86	5/6	85
12/5	90	16/7	88	19/9	87	23/11	87	27/1	86	2/4	86	6/6	85
13/5	90	17/7	88	20/9	87	24/11	87	28/1	86	3/4	86		
14/5	90	18/7	88	21/9	87	25/11	87	29/1	86	4/4	86		
15/5	90	19/7	88	22/9	87	26/11	87	30/1	86	5/4	86		
16/5	90	20/7	88	23/9	87	27/11	87	31/1	86	6/4	86		
17/5	90	21/7	88	24/9	87	28/11	87	1/2	86	7/4	86		
18/5	90	22/7	88	25/9	87	29/11	87	2/2	86	8/4	86		
19/5	90	23/7	88	26/9	87	30/11	87	3/2	86	9/4	86		
20/5	90	24/7	88	27/9	87	1/12	87	4/2	86	10/4	86		
21/5	90	25/7	88	28/9	87	2/12	87	5/2	86	11/4	86		
22/5	90	26/7	88	29/9	87	3/12	87	6/2	86	12/4	86		
23/5	90	27/7	88	30/9	87	4/12	87	7/2	86	13/4	86		
24/5	90	28/7	88	1/10	87	5/12	87	8/2	86	14/4	86		
25/5	90	29/7	88	2/10	87	6/12	87	9/2	86	15/4	86		
26/5	90	30/7	88	3/10	87	7/12	86	10/2	86	16/4	86		
27/5	90	31/7	88	4/10	87	8/12	86	11/2	86	17/4	86		
28/5	90	1/8	88	5/10	87	9/12	86	12/2	86	18/4	86		
29/5	89	2/8	88	6/10	87	10/12	86	13/2	86	19/4	86		
30/5	89	3/8	88	7/10	87	11/12	86	14/2	86	20/4	86		
31/5	89	4/8	88	8/10	87	12/12	86	15/2	86	21/4	86		
1/6	89	5/8	88	9/10	87	13/12	86	16/2	86	22/4	86		
2/6	89	6/8	88	10/10	87	14/12	86	17/2	86	23/4	86		
3/6	89	7/8	88	11/10	87	15/12	86	18/2	86	24/4	86		
4/6	89	8/8	88	12/10	87	16/12	86	19/2	86	25/4	86		
5/6	89	9/8	88	13/10	87	17/12	86	20/2	86	26/4	86		
6/6	89	10/8	88	14/10	87	18/12	86	21/2	86	27/4	86		
7/6	89	11/8	88	15/10	87	19/12	86	22/2	86	28/4	86		
8/6	89	12/8	88	16/10	87	20/12	86	23/2	86	29/4	86		
9/6	89	13/8	88	17/10	87	21/12	86	24/2	86	30/4	85		
10/6	89	14/8	88	18/10	87	22/12	86	25/2	86	1/5	85		
11/6	89	15/8	88	19/10	87	23/12	86	26/2	86	2/5	85		
12/6	89	16/8	88	20/10	87	24/12	86	27/2	86	3/5	85		
13/6	89	17/8	88	21/10	87	25/12	86	28/2	86	4/5	85		
14/6	89	18/8	88	22/10	87	26/12	86	1/3	86	5/5	85		
15/6	89	19/8	88	23/10	87	27/12	86	2/3	86	6/5	85		
16/6	89	20/8	88	24/10	87	28/12	86	3/3	86	7/5	85		
17/6	89	21/8	88	25/10	87	29/12	86	4/3	86	8/5	85		
18/6	89	22/8	88	26/10	87	30/12	86	5/3	86	9/5	85		
19/6	89	23/8	88	27/10	87	31/12	86	6/3	86	10/5	85		
20/6	89	24/8	88	28/10	87	1/1	86	7/3	86	11/5	85		
21/6	89	25/8	88	29/10	87	2/1	86	8/3	86	12/5	85		
22/6	89	26/8	88	30/10	87	3/1	86	9/3	86	13/5	85		
23/6	89	27/8	88	31/10	87	4/1	86	10/3	86	14/5	85		
24/6	89	28/8	88	1/11	87	5/1	86	11/3	86	15/5	85		
25/6	89	29/8	88	2/11	87	6/1	86	12/3	86	16/5	85		
26/6	89	30/8	88	3/11	87	7/1	86	13/3	86	17/5	85		



Förord

För drygt sju år sedan tog branschen ett krafttag för att säkerställa att de RF-mätningar som utförs i betongbjälklag på byggarbetsplatser runt om i landet ska vara tillförlitliga och dokumenteras på ett enhetligt sätt. Resultatet blev systemet RBK-auktoriserad fuktkontrollant – betong. Systemets grundbult, Manual – fuktmätning i betong, har sedan tillkomsten 1999 reviderats fortlöpande baserat på erfarenheter från utförda mätningar inom systemet och forskningsresultat från högskolor och byggindustrin. Detta projekt är en länk i det fortlöpande arbetet för att säkerställa systemets kvalite och vidareutveckling.

En eldsjäl inom fuktmätningområdet är Göran Hedenblad, Boverket, vars forskningsinsatser på Lunds Tekniska Högskola till stor del är grunden för systemet. Jag vill rikta ett varmt tack till Göran, som ingår i projektets styrgrupp/arbetsgrupp, för allt stöd och de tålmodiga förklaringar han bidragit med under vårt samarbete med fuktmätning genom åren.

Jag vill även tacka Bengt Ström, NCC, som är projektledare för detta projekt och den andra av tre i styrgruppen/arbetsgruppen. Även Bengt är en eldsjäl vad gäller fuktmätning och då gäller det främst användningen av systemet. Utan Bengt, som far runt i vårt avlånga rike och propagerar för fuktmätning, skulle säkerligen användningen av systemet vara betydligt sparsammare.

Slutligen vill jag tack Björn Kullander, NCC Roads AB, för upplåtandet av klimatrummet.

Själv är jag den sista personen i styrgruppen/arbetsgruppen och det är jag som rent handgripligen utfört mätningarna samt sammanställt rapporten.

Stockholm 2006-08-29

Ted Rapp



Sammanfattning

Vid fuktmätningar utförda i borrhål enligt RBKs, Rådet för ByggKompetens, rekommendationer i betong med lågt vattencementtal, vct < 0,4, har det visat sig att de resultat som erhålls ibland ifrågasätts. Det har varit svårt att fastställa om avvikande resultat beror på, betongens sammansättning, hantering av betongen, torkklimatet, felaktig mätning eller vilken givare som använts.

För att kontrollera att mätning enligt RBK:s riktlinjer, beskrivna i dokumentet Manual – fuktmätning i betong, ger rättvisande resultat utfördes ett begränsat antal mätningar i betong med de givarfabrikat som används inom systemet. Betong med tre olika vct har använts, 0,32, 0,35 och 0,38. De givare som testats är RF-givarna Vaisala HMP44, Testo 605-H1 och Humi-Guard. Mätningarna har utförts i ett klimatrums där RF och temperatur i rumsluften har kunnat regleras. Under projektet har strävan varit att hålla betongens temperatur så nära 20°C som möjligt för att minimera felkällorna.

Tre hål borrades i varje provkropp och en givare av varje fabrikat monterades i respektive provkropp enligt föreskrifterna i Manualen. Totalt testades således nio givare och tre provkroppar användes i form av målarburkar fyllda med betong. Avläsning utfördes enligt Manualen och resultaten jämfördes inbördes för att kontrollera överensstämmelsen. Givarna demonterades för saltkontroll och återmonterades därefter för en längre mätperiod. Syftet med detta var att kontrollera efter hur lång tid efter givarmontage som fuktjämvikt inträder och om givarna driver när de sitter monterade längre än 48 timmar i betongen.

I projektets storskede och i slutet skickades givarna på kalibrering och fortlöpande under projektet utfördes kontroller av givarna över en mättad saltlösning för att kontrollera driften.

Innan projektet avslutades helt gjordes ett försök med tre Vaisalagivare för att kontrollera om givarna kan monteras tidigare än tre dygn efter borrning vilket föreskrivs i Manualen. Försöket gav positivt resultat men fler kombinationer av vct, RF-nivå och givarfabrikat måste testas för att generella riktlinjer ska kunna upprättas.

Den viktigaste slutsatsen som kan dras av detta projekt är att RF-mätning i borrhål i betong med lågt vct som utförs enligt Manual – fuktmätning i betong levererar resultat som ligger inom angiven mätosäkerhet. En förutsättning för detta är dock att, vid mycket låga vct eller när RF i betongen närmar sig 85% RF, vänta tillräckligt länge för att fuktjämvikt ska inträda, och inte gå på minimivärdet 48 timmar, mellan givarmontage och avläsning. Ytterligare en förutsättning är att det utförs en rimlighetsbedömning av mätresultaten för att undvika grova fel men detta är lika viktigt vid mätning i betong med högre vct.



Innehållsförteckning

Förord	sidan 2
Sammanfattning	sidan 3
1. Bakgrund till projektet	sidan 5
2. Syfte	sidan 5
3. Genomförande	sidan 5
3.1. FAS 1	sidan 7
3.2. FAS 2	sidan 10
3.3. FAS 3	sidan 11
4. Resultat	sidan 12
4.1. FAS 1	sidan 12
4.2. FAS 2	sidan 18
4.2.1. Uttaget prov	sidan 25
4.2.2. Uppskattad RF beräknad med TorKaS 2.0	Sidan 27
4.3. FAS 3	sidan 30
5. Slutsatser	sidan 34
Litteraturförteckning	sidan 35
Bilaga: Resultat från uttorkningsberäkning med TorKaS 2.0	
4 sidor.	



1. Bakgrund till projektet

Vid fuktmätningar utförda enligt RBKs, Rådet för ByggKompetens, rekommendationer i betong med lågt vattencementtal, $v_{ct} < 0,4$, har det visat sig att de resultat som erhålls ibland ifrågasätts. Det har varit svårt att fastställa om avvikande resultat beror på, betongens sammansättning, hantering av betongen, torkklimatet, felaktig mätning eller mätutrustningen. Betong med lågt v_{ct} är svår att mäta i eftersom den är tätare och innehåller mindre fukt än traditionell betong. Detta medför att risken för mätfel ökar och det ställer större krav på noggrannhet vid mätningen och på mätutrustning. För att kunna hantera de frågor som uppstår framöver är det nödvändigt att under kontrollerade förhållanden göra ett antal jämförande mätningar med de metoder som används i RBK-systemet. Syftet med detta är att undanröja eventuella tvivel avseende rutinbeskrivningar, metoder och mätutrustning som används idag vid fuktmätning i betong med lågt v_{ct} .

Det blir allt vanligare att betong med lågt v_{ct} används med syfte att erhålla en snabb uttorkning vid husbyggnadsprojekt. Systemet RBK-auktoriserad fuktkontrollant betong, som nu varit i bruk i drygt sex år, har genererat erfarenhet från mätningar i betong med lågt v_{ct} . Det har visat sig att tveksamheter kring mätresultat uppstår mellan varven som är svåra att förklara trots att mätning utförts enligt systemet. I SBUF-projektet "Uttorkning av betong med lågt v_{ct} – Inverkan av härdningssätt"/4/ har RF-mätning i borrhål utförts i betong med $v_{ct} 0,38$. Stor skillnad i RF har noterats när mätning har utförts med olika givare i samma mäthål. Osäkerhet har uppstått om fuktjämvikt verkligen uppnås efter 48 timmar vilket förutsätts i RBK-systemet. Givare som suttit monterade i mer än en vecka har uppvisat stor drift som inte kunnat förklaras. Efterkontroll av givare har indikerat att givarna påverkats under den tid de suttit monterade i betongen utöver vad som kan anses normalt.

2. Syfte

För att utreda om avvikande resultat kan bero på mätutrustningen eller hur den hanteras beslöts därför att genomföra ett begränsat provningsprogram som syftar till att kontrollera om de givare och rutiner som används i systemet RBK-auktoriserad fuktkontrollant levererar korrekta mätresultat, avseende borrhålmätning, när mätning utförs i betong med $v_{ct} < 0,4$.

3. Genomförande

Projektet utfördes i ett klimatrums hos NCC Roads AB i Upplands Väsby under perioden 2005-04-21 till 2005-07-14. I detta rum finns möjlighet att styra både temperaturen och RF i rumsluften. Temperatur och RF har loggats kontinuerligt under projektets gång och strävan har varit att hålla temperaturen stabil och så nära 20°C som möjligt.



Figur 1. NCC Roads Laboratorium i Upplands Väsby



Figur 2. Klimatrum



Figur 3. Befuktning av rumsluften



Projektet har genomförts i tre faser. FAS 1 och FAS 2 var planerade från början och FAS 3 tillkom i projektets slutskede.

De givare som har använts är Humi-Guard, Testo 605-H1 samt Vaisala HMP44 vilka är de givare som används i RBK-systemet för borrhålsmätning. I början och slutet av projektet skickades Testo- och Vaisalagivarna för kalibrering till Byggnadsmiljö Mellansverige AB. Där används en fuktgenerator av fabrikatet Thunder Scientific Model 2500S för kalibrering. Mellan de olika faserna kontrollerades dessa givare över mättade saltlösningar.

Det har tidigare inte funnits möjlighet att kontrollera givare av fabrikatet Humi-Guard efter det att givarna suttit monterade i ett borrhål. Under detta projekt har en metod testats där en använd givare demonteras från sitt mätbehåll och monterats över en referenscell i ett referensblock för efterkontroll. Metoden har fungerat väl och samtliga givare som användes i projektet har efterkontrollerats. Metoden infördes i RBK-systemet våren 2006.

Projektet avslutades med att ett uttaget prov togs i varje burk för RF-bestämning i laboratorium. RF-bestämningen utfördes av Byggnadsmiljö Mellansverige AB.

3.1. FAS 1

Syftet med denna fas var att kontrollera om mätning enligt Manual – fuktmätning i betong med olika givare ger resultat som överensstämmer med varandra inom angiven mätosäkerhet.

I SBUF-projektet "Uttorkning av betong med lågt vct – inverkan av härdningssätt" /4/ har betong gjutits i plåtburkar under våren 2004 som därefter förslutits med ett plåtlock. Uttorkning av denna betong har enbart kunnat ske genom kemisk uppbindning varefter RF legat stabilt vid 85 – 90%. Tre av dessa burkar har använts i detta projekt och vct i burkarna är 0.32, 0.35 och 0.38. Använt cement är Byggcement med cementmängden 526 kg/m³ i samtliga burkar. Burkarna har diametern 19 cm och fylldes fulla med betong till en höjd av 15 cm.

Locket avlägsnades på de tre burkarna 2005-04-21 och efter detta datum började således betongen i burkarna torka genom diffusion. Detta är en mycket långsam process beroende på det låga vct och det faktum att betongen var ett år gammal när locket avlägsnades.



Figur 4. Provbuk direkt efter att locket avlägsnats.

I burkarna borrades hål med diametern 16 mm, 22/4, till ett mätdjup på 77 mm för att nå ner till mitten av betongen. Hålen fodrades med mätrör avsedda för respektive givare och täthetskontroll utfördes. Se figur 5.



Figur 5. Täthetskontroll av mätrör.

I varje burk har tre givare monterats för inbördes jämförelse av mätresultaten. I burkarnas sidor fanns ett mätrör monterat från det tidigare projektet vilket förseddes med nya givare av fabrikatet Humi-Guard. Avläsningarna från dessa givare redovisas inte i denna rapport eftersom mätrören var monterade på ett något lägre mätdjup och med ett annat förfarande än för övriga givare vilket medför att resultaten inte är direkt jämförbara.



Figur 6. Provburkarna med monterade givare.

Givarna monterades och lästes av enligt ruinerna i Manual – Fuktmätning i betong, version 3, daterad 2001-04-02, /1/ som i denna rapport fortsättningsvis benämns Manualen. Ett avsteg gjordes dock. Skyddsburken och mätkonen monterades inte över Vaisala- respektive Testogivarna eftersom mätningarna utfördes i ett klimatrums och det var begränsat med plats på betongytan.

Manualen föreskriver att givare av fabrikatet Vaisala och Testo får läsas av tidigast 48 timmar efter montage och Humi-Guard tidigast fyra dygn efter montage men detta förutsätter att fukt och temperaturjämvikt inträtt. Om så inte är fallet måste avläsning anstå ytterligare en tid.

För att kontrollera detta fick givarna sitta kvar ytterligare ett dygn efter avläsningen vid 48 timmar och således utfördes tre avläsningar under FAS 1, med ett dygns mellanrum, 26/4, 27/4 och 28/4. Se figur 13 - 15.

Eftersom det förelåg misstankar om att gummipluggen som tätar mellan mätrör och givarkabel till Vaisalagivaren, se figur 7, inte ger ett tätt montage applicerades tätningsmassa ovanpå plugg och mätrör efter avläsningen den 27/4.



Figur 7. Mätör med monterad gummiplugg.



Figur 8. Mätör tätat med tätningsmassa.

Avsikten var att kontrollera om en ökning av RF kunde noteras vid avläsningen den 28/4. Därefter demonterades givarna för efterkontroll. Resultaten jämfördes och utvärderades för att kontrollera att mätresultaten överensstämmer med varandra inom systemets gränser d.v.s. inom angiven mätosäkerhet.

3.2. FAS 2

Syftet med FAS 2 var att kontrollera efter hur lång tid från givarmontage som fuktjämvikt inträder för de olika givarna samt om någon drift kunde noteras om givarna satt monterade under en längre tid i borrhålet. Drift är när avläst RF för en givare ändras med tiden för mätning vid samma RF-nivå. Alla RF-givare driver i någon omfattning med tiden men driften kan öka om givarna utsätts för nedsmutsning, kondens och vissa kemikalier.

Givarna av fabrikatet Vaisala och Testo monterades igen den 23/5 i samma mäthål som de satt i tidigare. Innan en givare monterades kontrollerades mätörrets täthet, se figur 5, för att säkerställa att inget läckage förelåg. Ett läckage skulle kunna orsaka att hålet torkat ut vilket medför en lägre RF än vid tidigare mätning. Vaisalagivarna tätades omedelbart efter montage med tätningsmassa mellan mätör och gummiplugg/givarkabel. Tre nya givare av fabrikatet Humi-Guard monterades i de gamla mäthål. Avläsning utfördes den 24/5, 25/5, 26/5, 27/5, 31/5, 2/6, 3/6 och 7/6. Därefter demonterades givarna för egenkontroll över mättade saltlösningar och efterkontroll. Testo- och Vaisalagivarna skickades på kalibrering efter slutförd egenkontroll.

Den 7/6 och 8/6 avslutades FAS 2 med uttaget prov i de tre burkarna. Prov togs ut på mätdjupet 77 mm vilket innebär ett provtagningsintervall på 72 – 87 mm. Provuttagning utfördes enligt Manualen med ett avsteg. I stället för att använda en hammarborrkrona med diametern $\varnothing 90$ mm så användes en slagborrmaskin med $\varnothing 16$ mm borrhål. Hål borrades till avsett djup i en cirkel med diametern ca $\varnothing 110$ mm varefter materialet mellan hålen handbilades bort. Anledningen till detta var att risk förelåg att burken eller betongen i burken skulle börja rotera om en hammarborrkrona användes.



Figur 9. Start uttaget prov vct 0,32.



Figur 10. Avslutat uttaget prov vct 0,32.

RF-bestämningen utfördes av Kajsa Söderberg på Byggnadsmiljö i Norrköping AB med spegelkondensgivare av fabrikatet Protimeter. Kajsa är auktoriserad inom systemet RBK-auktoriserad fuktkontrollant – betong.

3.3. FAS 3

Under projektets gång dök ytterligare frågor upp. Tre av dem fanns det möjlighet att gå vidare med inom detta projekt. Frågorna var:

1. Kan givare av fabrikatet Testo och Vaisala monteras tidigare än tre dygn efter borrhning av mätthål?
2. Kan Vaisalas handenhet HMI 41 användas för loggning av mätresultat inom systemet RBK-auktoriserad fuktkontrollant – betong?
3. Påverkar microportejen, som används som filter till Testogivarna, inställningstiden vid borrhålsmätning i betong med lågt vct?

Fråga 1

För att undersöka detta borrhades tre stycken mätthål i ytterligare en burk med vct 0,38. Hålen fodrades med mätrör enligt manualen och täthetskontroll utfördes. I ett av hålen monterades en Vaisala givare omedelbart efter borrhning. Nästa givare monterades ett dygn efter borrhning och den sista givaren monterades tre dygn efter borrhning vilket är föreskrivet i Manualen. Avläsning utfördes genom loggning med handenheten, HMI 41, vilken kan lagra mätvärden en gång i timmen under maximalt sju dygn.



Figur 11. Mätrör för loggning av RF med Vaisala.



Figur 12. Pågående loggning.

Före och efter mätperioden kontrollerades givarna mot en mättad saltlösning för kontroll av eventuell drift.

Fråga 2

För att verifiera att loggning ger samma resultat som momentan avläsning med Vaisala givare och avläsningsenhet testades detta över en mättad saltlösning vid flera tillfällen. En av givarna med tillhörande avläsningsenhet loggades även under kalibreringen vid två tillfällen för att avgöra om det gav samma resultat som vid momentan avläsning.

Fråga 3

Eftersom Testogivarna verkade ta längre tid på sig att komma till fuktjämvikt dök misstanken upp om att detta skulle kunna bero på microportejen som används som filter till denna givare. För att kontrollera detta utfördes mätning i borrhål utan tejp på givaren. En saltkontroll utfördes innan givaren monterades i betongen för att kontrollera att samma resultat erhöles som vid saltkontroll med microportejp. Montage av givaren utfördes den 5/7 och avläsning utfördes den 6/7, 8/7, 11/7 och 14/7.

4. Resultat

4.1. FAS 1

Mäthålen borrades i de tre burkarna och fodrades med mätrör den 22/4. Humi-Guardgivarna monterades direkt efter borringen enligt föreskrifterna i Manualen. Montage av Testo- och Vaisalagivarna utfördes den 25/4, tre dygn efter borringen. Avläsning av givarna utfördes därefter vid tre tillfällen. Redovisad RF i tabellerna i figur 13 - 15 avser slutvärdet d.v.s. RF omräknat till RF vid 20°C inklusive mätosäkerhet och korrektion på grund av fuktkapacitet. Mätosäkerheten, som adderas till mätvärdet, är i dessa mätningar 2,3% RF för Vaisala och Testo och 2,2% RF för Humi-Guard. Kolumnen "Salt" avser kalibrerad RF vid kontroll av kalibrering före och efter mätningen och dessa värden används för att uppskatta givarens drift.

* Drift gällande Humi-Guard avser avvikelser mellan slutvärdet och beräknad RF vid efterkontrollen, E-kont, av givarna. Denna avvikelse inkluderar även hysterés och spridning.



Mät punkt	Givarfabrikat	Salt	26/4	27/4	28/4	Salt	E-kont.	Drift
A32	Testo BS2	84,1	82,5	84,8	85,5	84,5		+0,4
B32	Vaisala V5	84,9	84,0	85,4	86,8	84,6		-0,3
C32	Humi-Guard		85,5	85,6	85,7		85,9	-0,2*

Figur 13. Slutvärde i % RF vid mätning i betong med vct 0,32.

Mät punkt	Givarfabrikat	Salt	26/4	27/4	28/4	Salt	E-kont.	Drift
A35	Testo T1	84,2	80,7	83,0	83,9	84,2		0
B35	Vaisala V7	84,2	82,6	84,0	86,5	84,2		0
C35	Humi-Guard		88,0	87,7	87,7		88,2	-0,5*

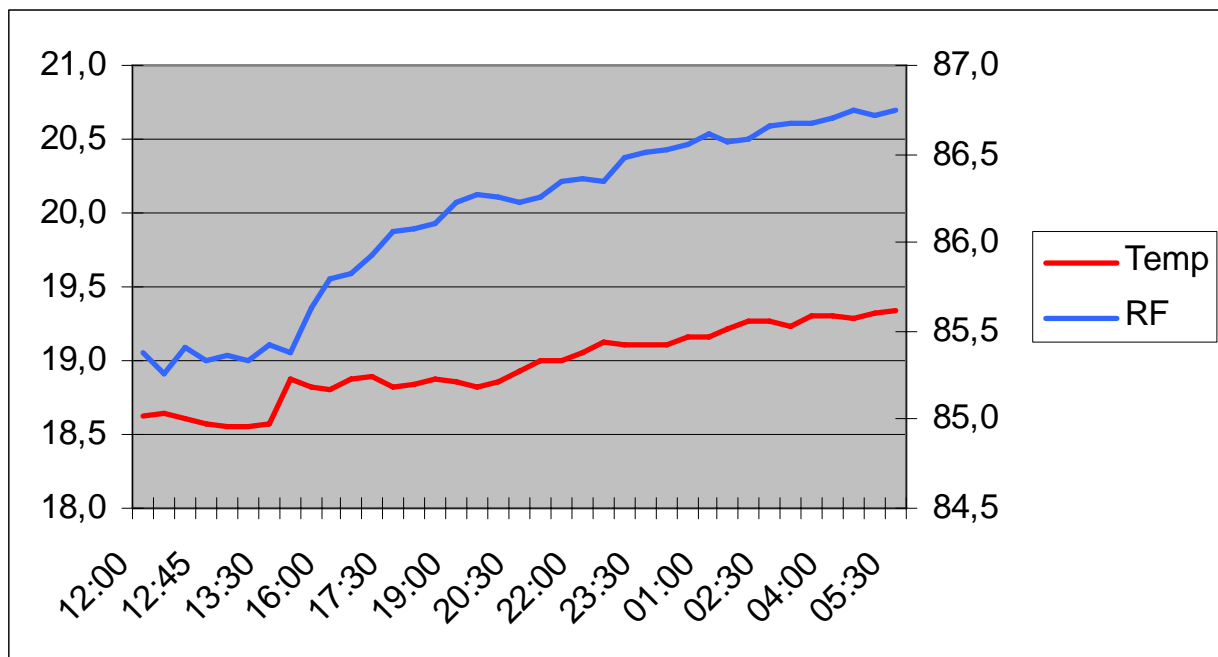
Figur 14. Slutvärde i % RF vid mätning i betong med vct 0,35.

Mät punkt	Givarfabrikat	Salt	26/4	27/4	28/4	Salt	E-kont.	Drift
A38	Testo T2	84,4	84,6	86,4	87,0	84,5		+0,1
B38	Vaisala V8	84,1	86,7	87,8	89,3	84,2		+0,1
C38	Humi-Guard		89,9	89,8	89,8		89,1	+0,7*

Figur 15. Slutvärde i % RF vid mätning i betong med vct 0,38.

I figur 13 - 15 kan följande noteras:

- Avläst värde för Testo och Vaisala stiger mellan avläsningarna medan värden för Humi-Guard i princip ligger still.
- Avläst RF är lägst i samtliga mätningar för Testogivaren.
- Humi-Guardgivaren har kommit i fuktjämvikt efter fyra dygn från montage vilket överensstämmer med föreskrifterna i Manualen. Det lilla svajet i RF mellan avläsningarna beror sannolikt på temperaturvariationer.
- Testo och Vaisala har inte kommit i fuktjämvikt 48 timmar efter givarmontage. Detta är minimitiden mellan givarmontage och avläsning enligt Manualen.
- Orsaken till att avläsningarna med Testo och Vaisala ökar är inte orsakat av drift. Ökningen av RF mellan avläsningarna är väsentligt större än uppskattad drift.
- Pluggen som ska täta mellan mätrör och givarkabel vid mätning med Vaisala uppfyller inte sin funktion. Extra tätning utfördes med tätningsmassa efter avläsningen den 27/4 vartefter RF ökade med över en procent RF för samtliga Vaisalagivare vilket indikerar läckage. Givare V5 loggades mellan den 27/4 – 28/4 och resultatet visas i figur 16. En tydlig ökning av RF erhålls efter det att tätningsmassan applicerats.



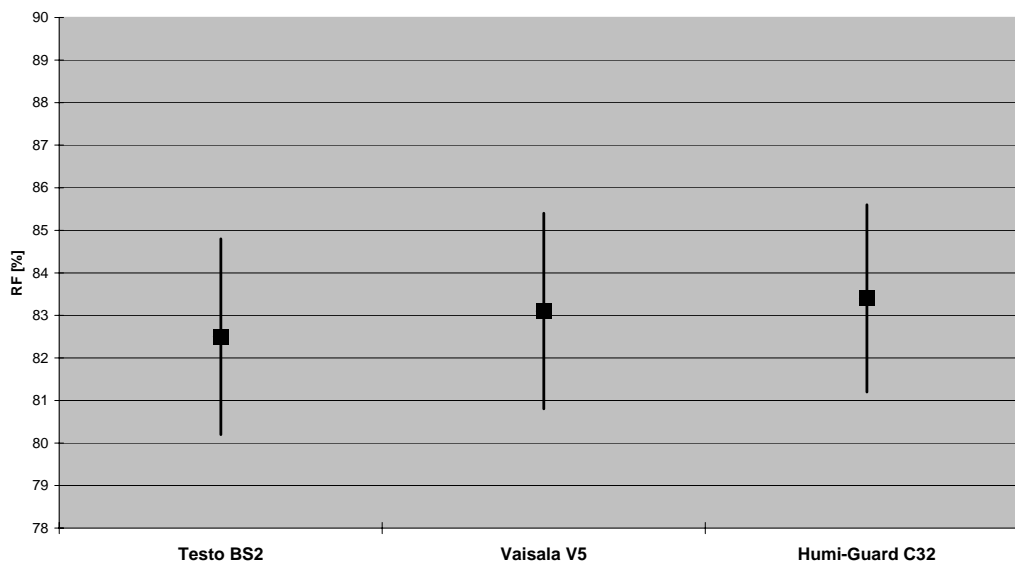
Figur 16. Loggning av betongens RF och temperatur med givare Vaisala V5 från 27/4 till 28/4. Tätning mellan gummiplugg/mätrör/givarkabel med tätningssmassa utfördes 27/4 ca 15:00. En tydlig ökning av RF framgår i figuren efter att tätningen utförts vilket indikerar att tätningssmassa krävs för att förhindra läckage som annars orsakar ett för lågt RF-värde. RF ökning på grund av temperaturökningen på ca 1°C i figuren uppgår till ca 0,3% RF och är således inte förklaringen till den totala ökningen i RF.

Osäkerheten i mätningarna är egentligen ett intervall inom vilket mätresultatet ligger. Osäkerheten 2,3% är således $\pm 2,3\%$ vilket ger ett intervall på 4,6% RF som resultatet ligger inom. För att mätresultaten från de olika givarfabrikaten, i samma betong, ska uppfylla systemets krav beskrivet i Manualen så ska intervallen för samtliga mätningar i samma betong tangera varandra. Detta innebär att om två mätningar utförs med mätosäkerheten $\pm 2,3\%$ i respektive mätning så får slutvärdet mellan mätningarna skilja maximalt 4,6% RF för att ligga inom angiven mätosäkerhet. Om så inte är fallet har något fel begåtts under mätningen. Tänkbara fel är:

- För kort mättid vilket innebär att fuktjämvikt inte inträtt
- Läckage mellan mätrör och omgivande luft
- Temperaturstörning
- Avläsningsfel eller användning av fel/inaktuell kalibreringskurva
- Givaren har drivit av någon anledning

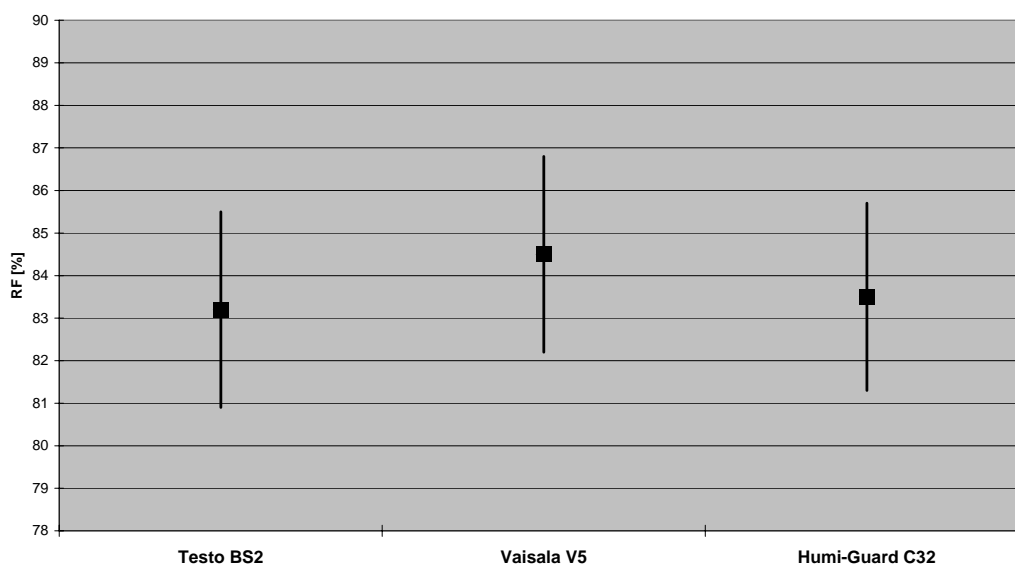
I figur 17 – 22 redovisas slutvärdet för avläsningarna utan mätosäkerhet, svart fyrkant, varefter mätosäkerheten markeras som vertikala staplar.

Avläsning 27/4 vct 0,32



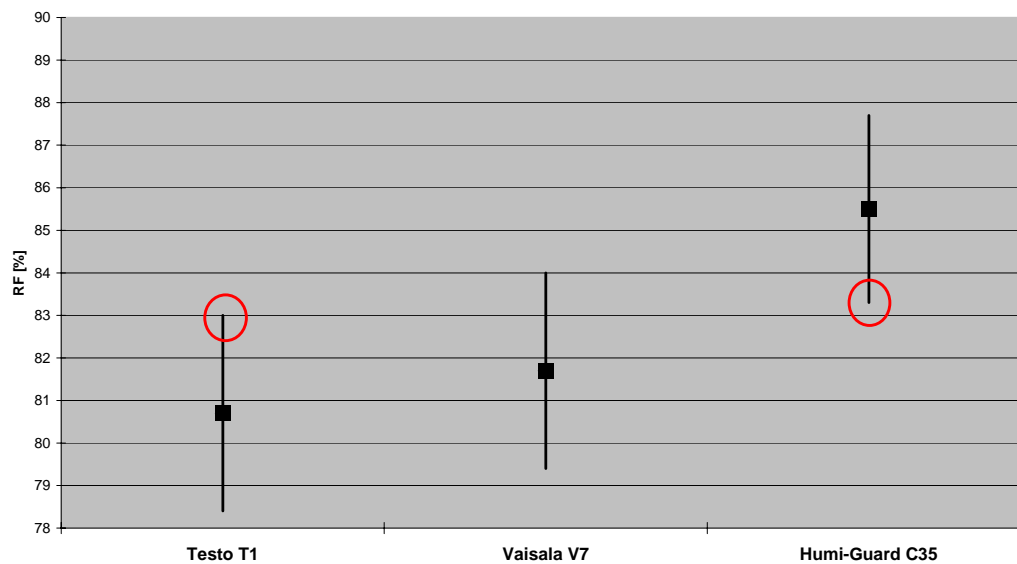
Figur 17. RF för de olika givarna 27/4 i burken med vct 0,32.

Avläsning 28/4 vct 0,32



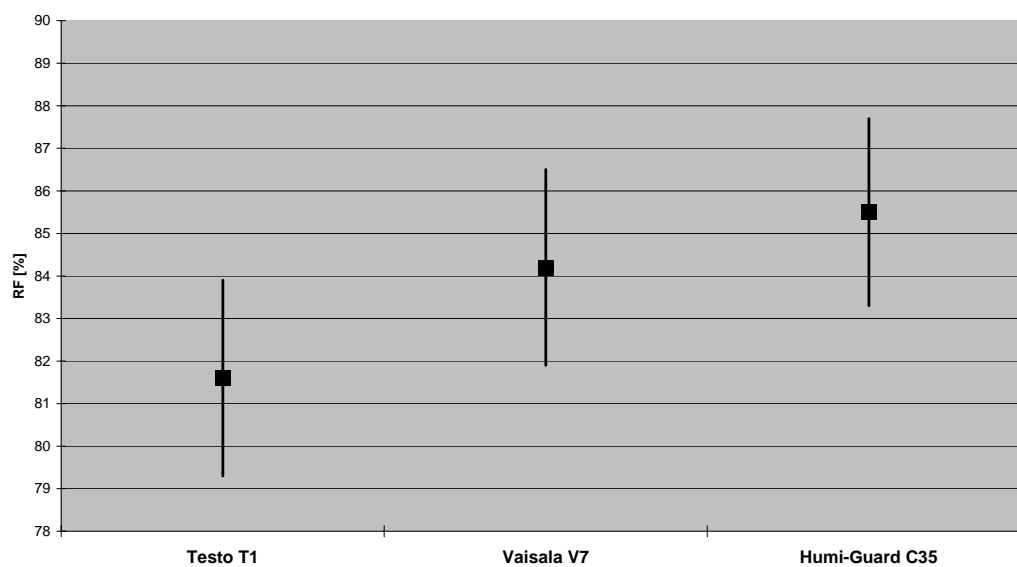
Figur 18. RF för de olika givarna 28/4 i burken med vct 0,32.

Avläsning 27/4 vct 0,35



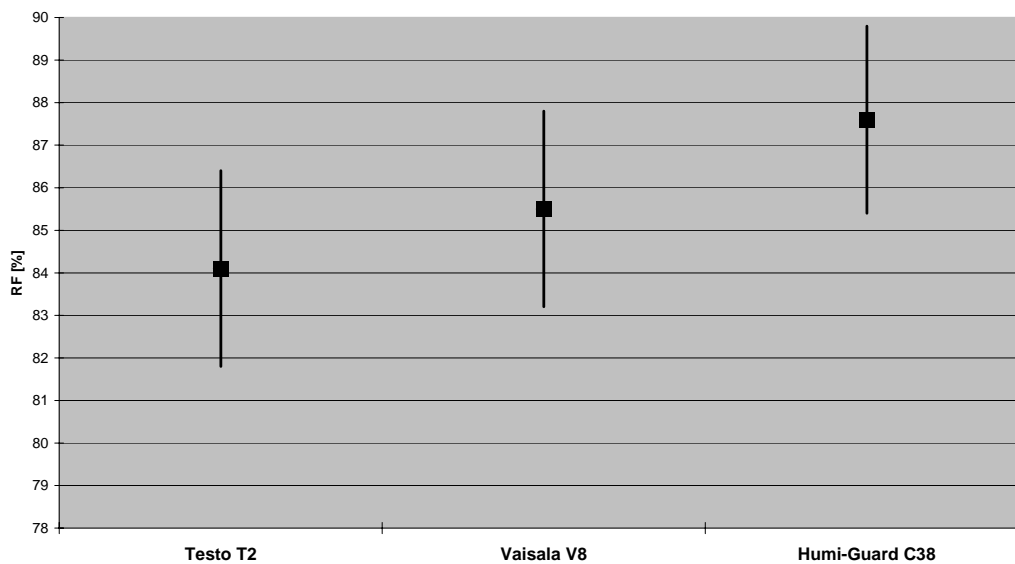
Figur 19. RF för de olika givarna 27/4 i burken med vct 0,35.

Avläsning 28/4 vct 0,35



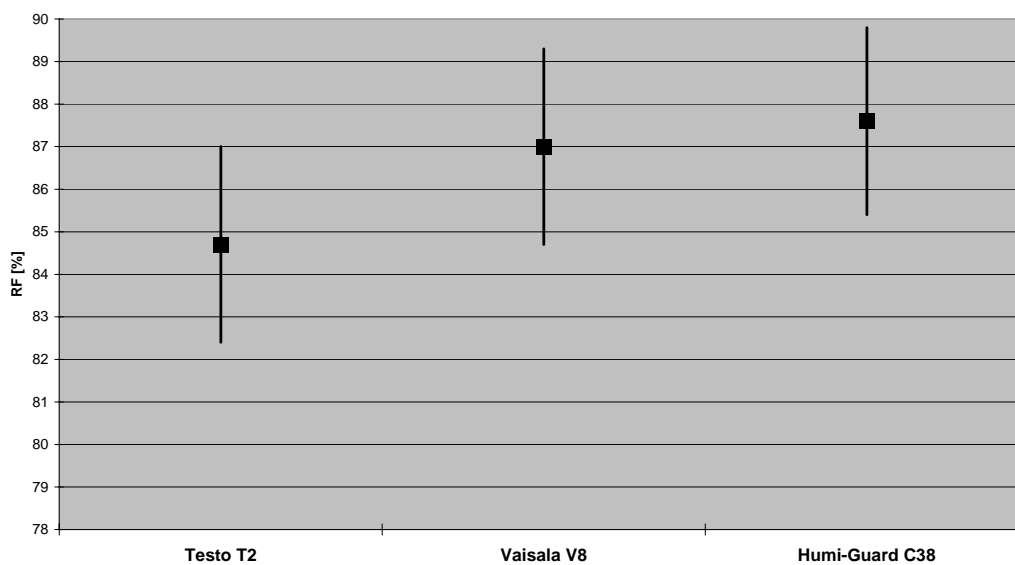
Figur 20. RF för de olika givarna 28/4 i burken med vct 0,35.

Avläsning 27/4 vct 0,38



Figur 21. RF för de olika givarna 27/4 i burken med vct 0,38.

Avläsning 28/4 vct 0,38



Figur 22. RF för de olika givarna 28/4 i burken med vct 0,38.

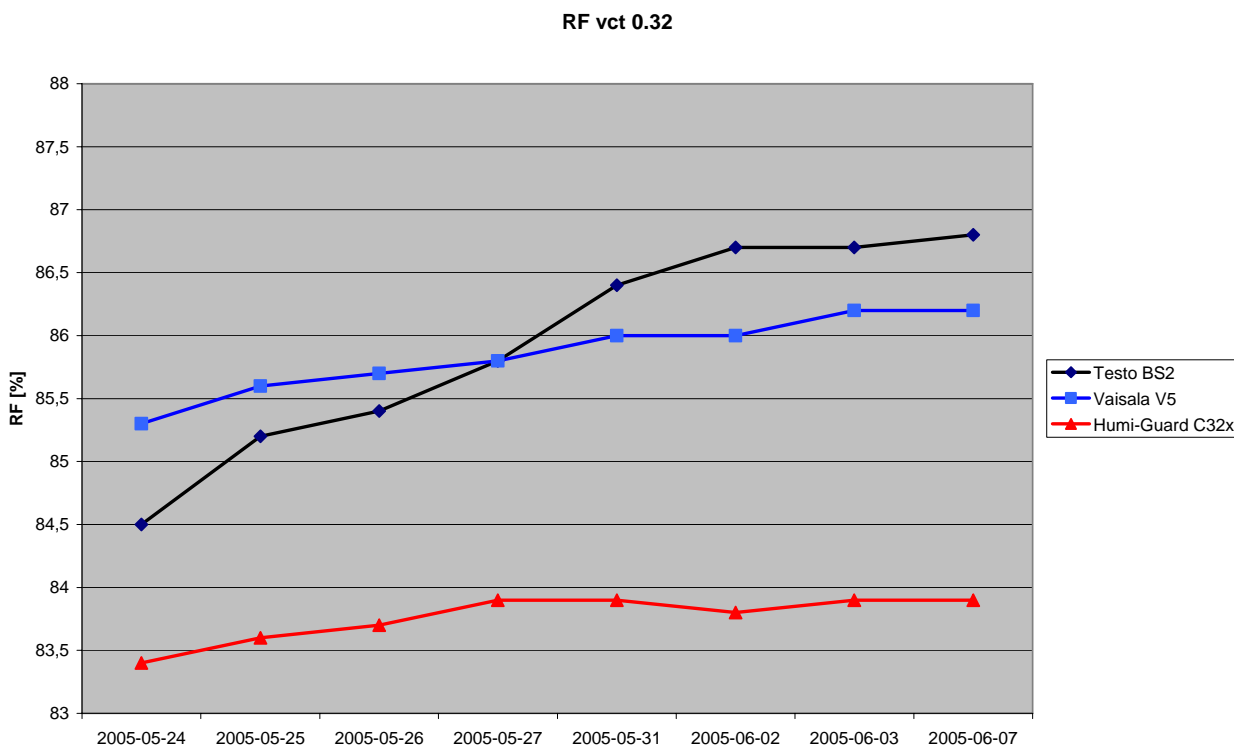
En sammanfattning av figur 17 – 22 är att mätningarna inryms inom angiven mätosäkerhet utom i ett fall. Det är vid avläsningen den 27/4 i betong med vct 0.35, se figur 19. Mätresultatet från givarna Testo och Humi-Guard ligger för långt ifrån varandra. Detta avstånd har dock minskat vid följande avläsning den 28/4 och är vid denna avläsning inom angiven mätosäkerhet. I detta fall krävs således att Testogivaren sitter monterad längre än 48 timmar för att fuktjämvikt ska uppnås.

4.2. FAS 2

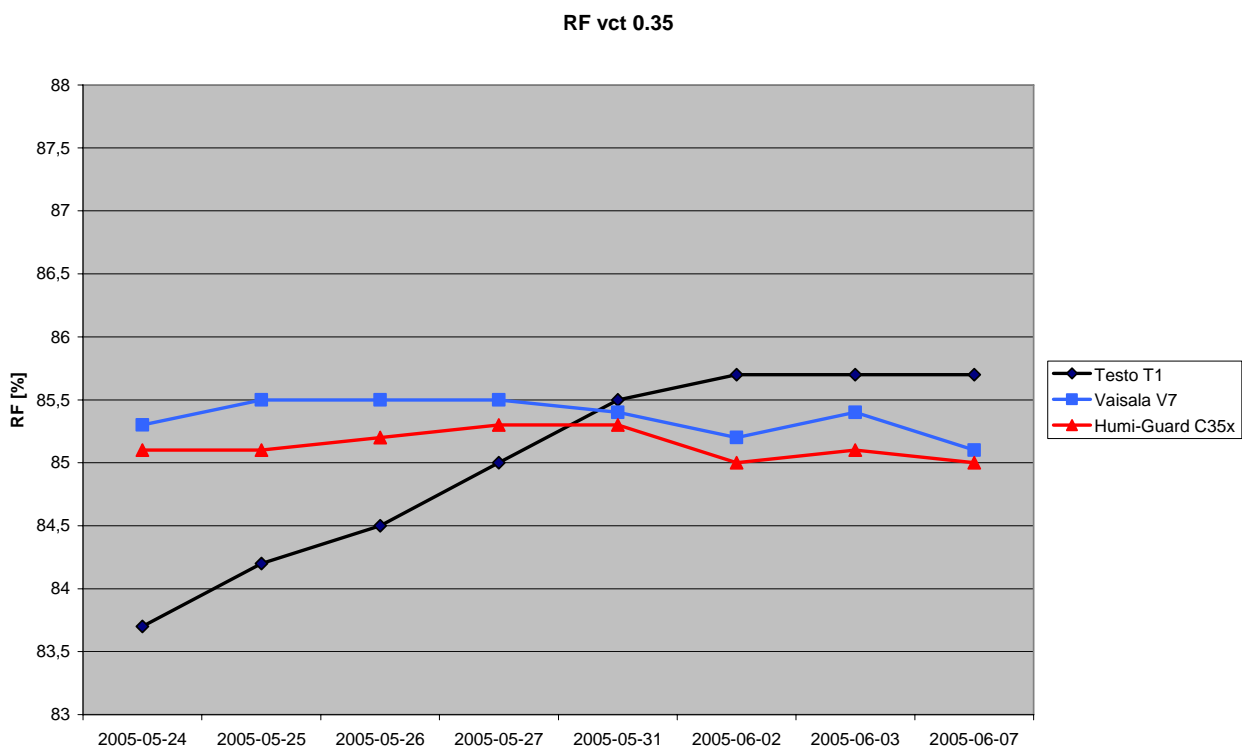
Givarna fick under denna fas sitta monterade under två veckors tid för att kontrollera:

1. Efter hur lång tid från givarmontage som fuktjämvikt inträder
2. Om givarna driver när de är monterade i borrhålet under en längre period

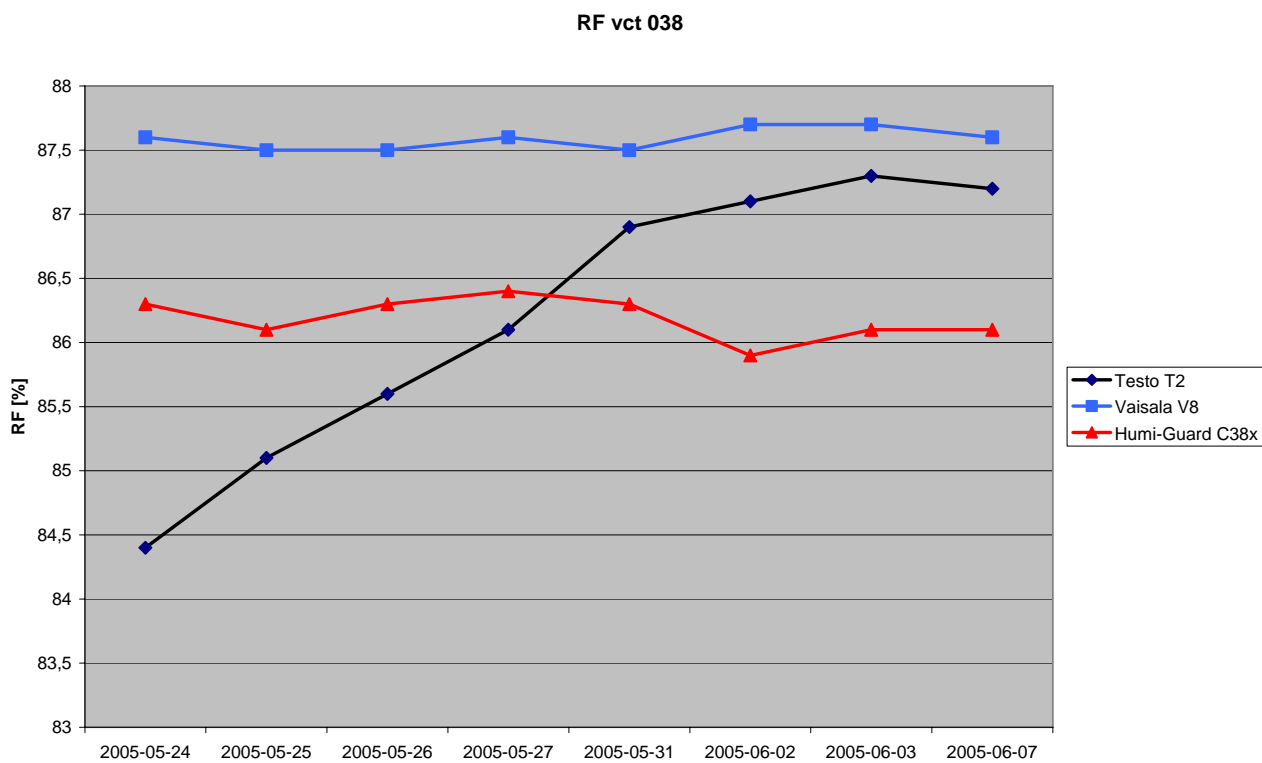
Avläsningarna redovisas i figur 23 – 25.



Figur 23. Slutvärde avseende RF för givarna vid samtliga avläsningstillfällen, vct 0,32.

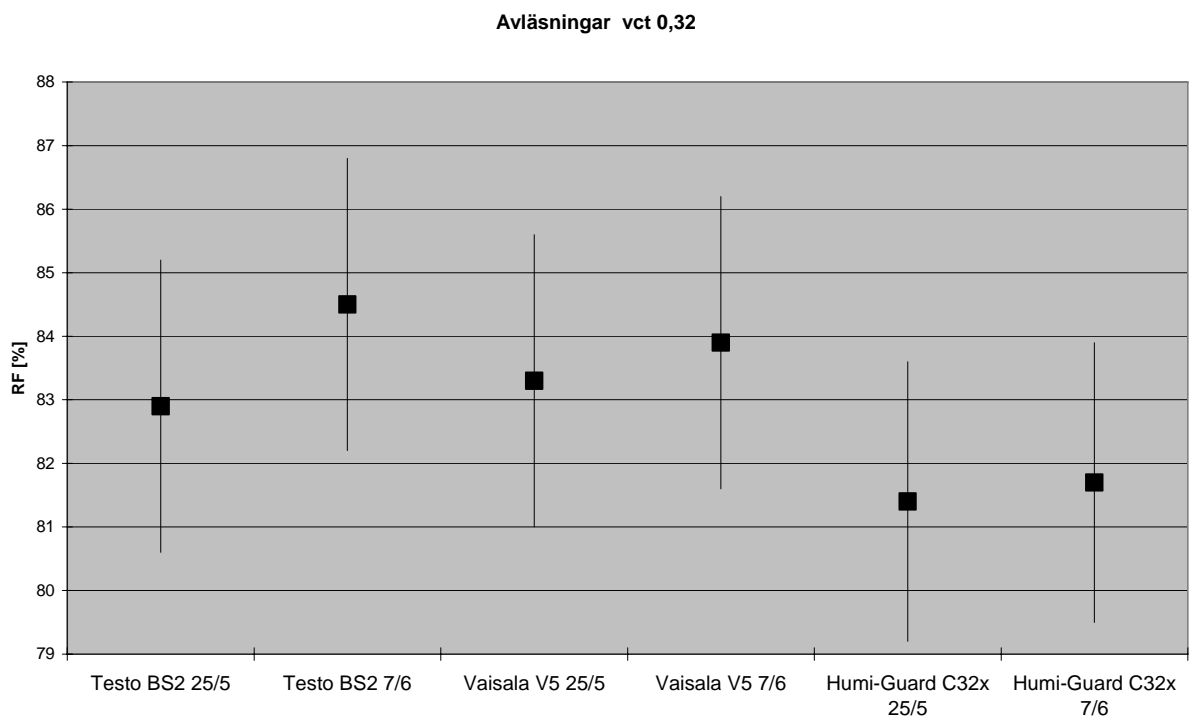


Figur 24. Slutvärde avseende RF för givarna vid samtliga avläsningstillfällen, vct 0,35.

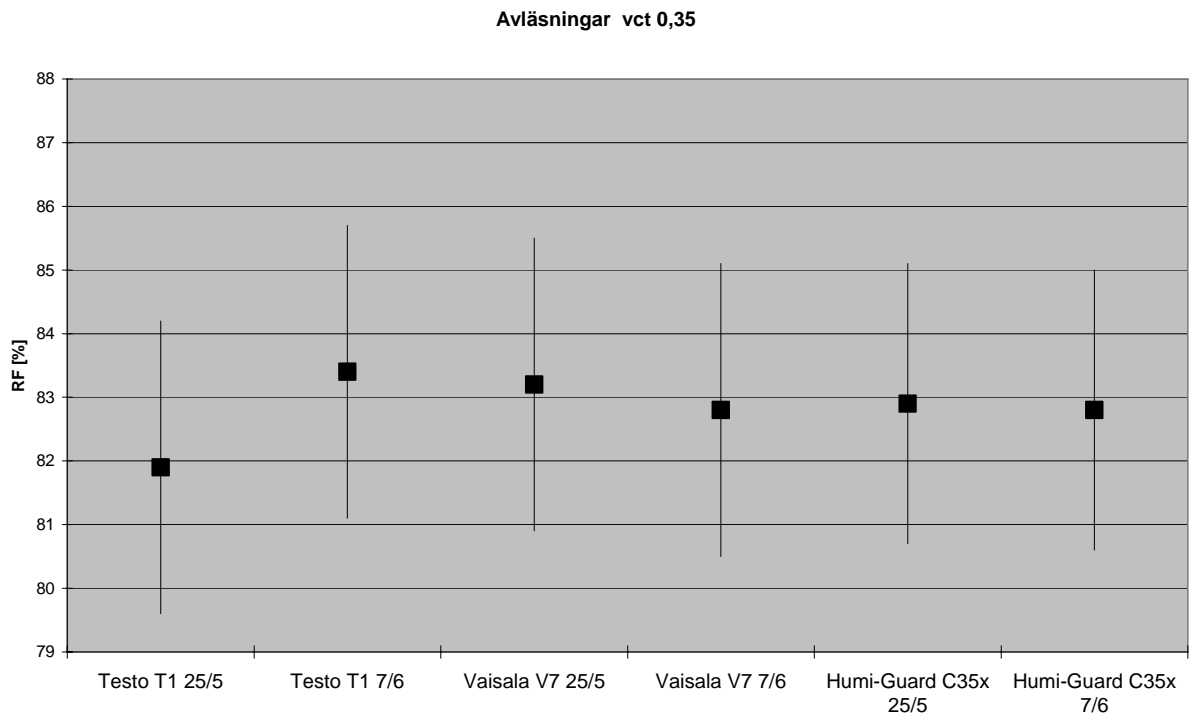


Figur 25. Slutvärde avseende RF för givarna vid samtliga avläsningstillfällen, vct 0,38.

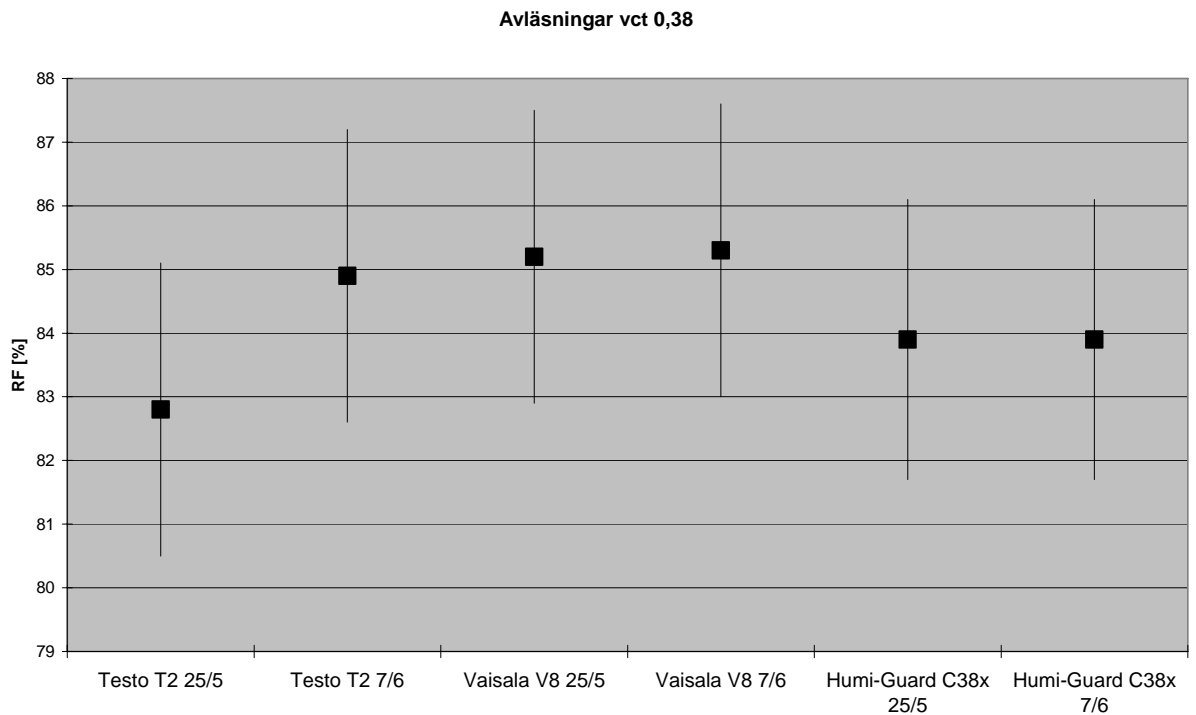
I samtliga figurer kan noteras att det tar betydligt längre tid vid mätning med Testo att komma till fuktjämvikt än med övriga givare. Vid mätning i vct 0,35 och 0,38 är fuktjämvikt uppnådd efter 48 timmar efter givarmonteringen, 25/5, både för Vaisala och för Humi-Guard. Ett ”svaj” på några tiondels procent RF i mätresultat vid jämvikt uppstår ofta på grund av variation i temperaturen. För vct 0,32 däremot tar det längre tid för samtliga givare att komma till fuktjämvikt. Först fyra dygn efter givarmonteringen, 27/5, kan mätningarna med Humi-Guard och Vaisala sägas ha kommit till fuktjämvikt. För mätningarna med Testogivarna tar det cirka nio dygn innan fuktjämvikt råder för samtliga vct enligt detta försök. En jämförelse mellan slutvärdet avläst den 25/5 och 7/6 redovisas nedan i figurerna 26 - 28.



Figur 26. Jämförelse av RF mellan avläsning den 25/5 och 7/6 för samtliga givare, vct 0,32.



Figur 27. Jämförelse av RF mellan avläsning den 25/5 och 7/6 för samtliga givare, vct 0,35.



Figur 28. Jämförelse av RF mellan avläsning den 25/5 och 7/6 för samtliga givare, vct 0,38.



En fråga som dyker upp vid studie av dessa figurer är om skillnaden i RF mellan avläsning den 25/5 och 7/6 kan bero på att givarna driver?

Sammanställningen i figur 29 är ett försök att visa på effekten av drift. För att kontrollera driften, i syfte att bedöma om givaren måste kalibreras om, ska saltkontroller utföras fortlöpande av givarna. I kolumn 1 redovisas resultatet för denna kontroll avseende drift från första kontrollen som utförts efter kalibreringen till den sista kontrollen innan givarna åter skickades på kalibrering. Givare Testo BS2 har således drivit +1,5% RF mellan dessa datum.

Kolumn	1 Drift, salt % RF 6/4 – 9/6	2 Drift, kalibrering % RF 4/4 – 15/6	3 Saltkontroll, skillnad efter och före kalibrering 15/6 % RF
Givare			
Testo BS2	+1,5	+0,3	-0,9
Testo T1	+1,1	+0,1	-0,6
Testo T2	+0,9	+0,1	-0,6
Vaisala V5	+0,5	0	-0,4
Vaisala V7	-0,9	-1,5	-0,2
Vaisala V8	+0,3	-0,6	-0,4
Humi-Guard C32x	+0,4*	-	-
Humi-Guard C35x	+0,3*	-	-
Humi-Guard C38x	+0,9*	-	-

Figur 29. Uppskattning av drift baserat på saltkontroller och resultat från kalibrering.

Enligt denna kontroll skulle hela ökningen för givare Testo BS2, merparten för Testo T1 och hälften av Testo T2 kunna förklaras med drift. Studeras däremot kolumn 2 där driften utvärderas utifrån resultaten från två kalibreringstillfällen, 4/4 och 15/6, så är driften för Testogivarna liten och kan således inte vara förklaringen till att resultatet avseende RF ökar från den 25/5 till den 7/6. Att notera är att driften för dessa givare är positiv dvs avläst värde ökar med tiden för samma RF.

Saltkontroller är behäftad med en större osäkerhet än kalibrering varvid drift beräknad utifrån kalibreringarna får antas vara mest trovärdig. Vad som förbryllar något är att en jämförelse mellan saltkontroll utförd före kalibrering 15/6 och efter kalibrering 15/6, se kolumn 3, visar på en negativ drift. Givarna verkar driva under kalibreringen, åt andra hållet! Detta kan tolkas som att givarna återgår till ursprunget och avläst värde vid saltkontrollen närmar sig det värde som erhöles vid saltkontrollen innan givarna monterades.



Studeras resultaten från Vaisalagivarna så spretar de mer än för Testo. För Vaisala V7 visar både saltkontrollen och kalibreringarna på en negativ drift. Detta stämmer med avläst RF som sjunkit mellan avläsning utförd den 25/5 och 7/6 i figur 27.

För övriga två givare antyder saltkontrollen en svag positiv drift medan kalibreringarna visar på noll drift eller negativ drift vilket är mer troligt för detta givarfabriket. Även i detta fall påvisar kolumn 3 en viss tillbakagång vid saltkontroll efter kalibreringen utförd den 15/6.

Vad gäller Humi-Guard så är det egentligen missvisande att kalla resultatet i kolumn 1 i figur 29 för drift. Detta värde har beräknats genom att jämföra avläst RF framtaget enligt Manualen med den RF som erhålls om givaren som används vid mätning i borrhål därefter flyttas till ett referensblock för användning som referens. Samma givare används således i detta fall som mätgivare och referensgivare vilket minskar mätosäkerheten. Värdet från denna avläsning eliminerar således driften helt. Givaren har ingen möjlighet att driva mellan dessa två avläsningar. I vanliga fall antas ju att referensgivare och givare i referensblock åldras, driver, likvärdigt förutsatt att de är från samma tillverkningsplats vilket visat sig vara missvisande till viss del. Används givarna under en längre tid kan denna drift bli betydande.

När samma givare används som referens och mätgivare minskas även effekten av hysteres och spridning i konduktans.

Givare	RF 7/6 Vid mätning enligt Manualen	RF 7/6 samma givare används vid mätning och som referens (efterkontroll)	Drift
Humi-Guard C32x	83,9	84,3	+0,4*
Humi-Guard C35x	85,0	85,3	+0,3*
Humi-Guard C38x	86,1	87,0	+0,9*

Figur 30. RF den 7/6 avläst med Humi-Guard vid normal mätning respektive efterkontroll.

Värdena som redovisas i kolumn 1 i figur 29 är således skillnaden mellan RF beräknad med de två förfarandena och tolkas som att RF framtaget med samma givare i mätposition och som referens ligger något högre än vid "normal" mätning. Givarna verkar alltså visa för låg RF med tiden för vid efterkontrollen visar det sig att RF ligger 0,3 – 0,9 % högre. Se sammanställningen i figur 30 ovan.



Figur 31. Kontroll av RF-givare över mättad saltlösning, 85% RF.

För att uppskatta saltkontrollens tillförlitlighet monterades givarna i en HumiCal 85 box avsedd för kontroll av givarna. En Humi-Guardgivare monterades i en fuktburk, med motsvarande funktion, i ett mätrör enligt figur 31.

Saltet som används till den mättade saltlösningen i utrustningen är Kaliumklorid vilket alstrar en RF på 85,1% vid 20,0°C.

Givarna fick sitta monterade i 38 timmar och avläsning av RF och temperatur utfördes vid fyra tillfällen oberoende av varandra efter det att givarna suttit monterade i 24 timmar. Givarnas kalibreringskurvor användes för att beräkna kalibrerad RF.

Resultatet som redovisas nedan i figur 32 är medelvärdet av dessa avläsningar för respektive givare.

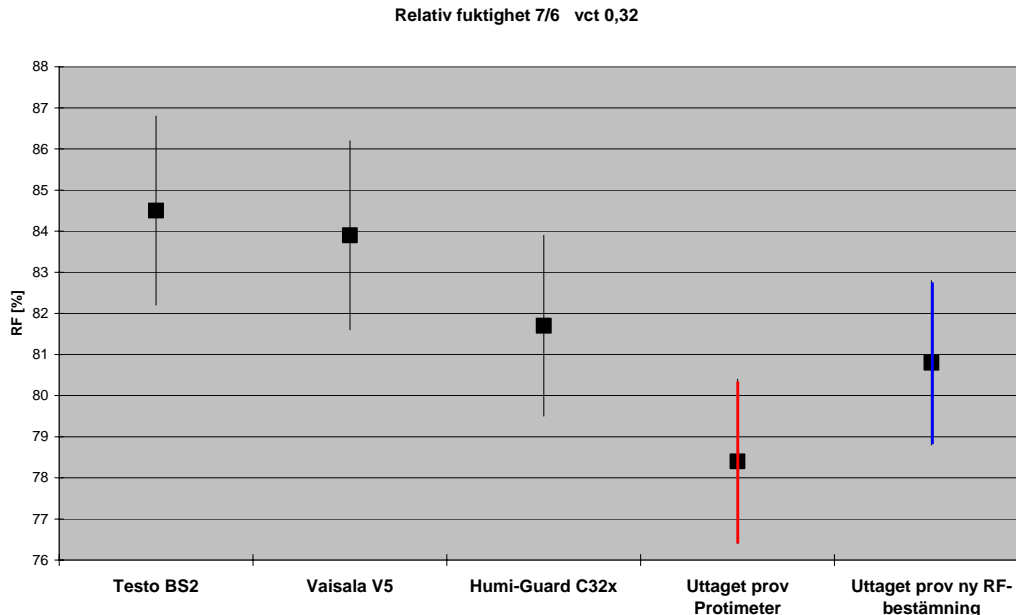
Givare	Avläst temperatur [°C]	Kalibrerad RF [%]
Testo BS2	21,0	85,6
Testo T1	20,9	85,1
Testo T2	20,7	85,2
Vaisala V5	21,0	85,1
Vaisala V7	21,0	83,6
Vaisala V8	20,8	84,7
Humi-Guard	21,1	85,3
Humi-Guard*	21,1	85,0

Figur 32. Temperatur och kalibrerad RF vid kontroll över mättad saltlösning, 85% RF.

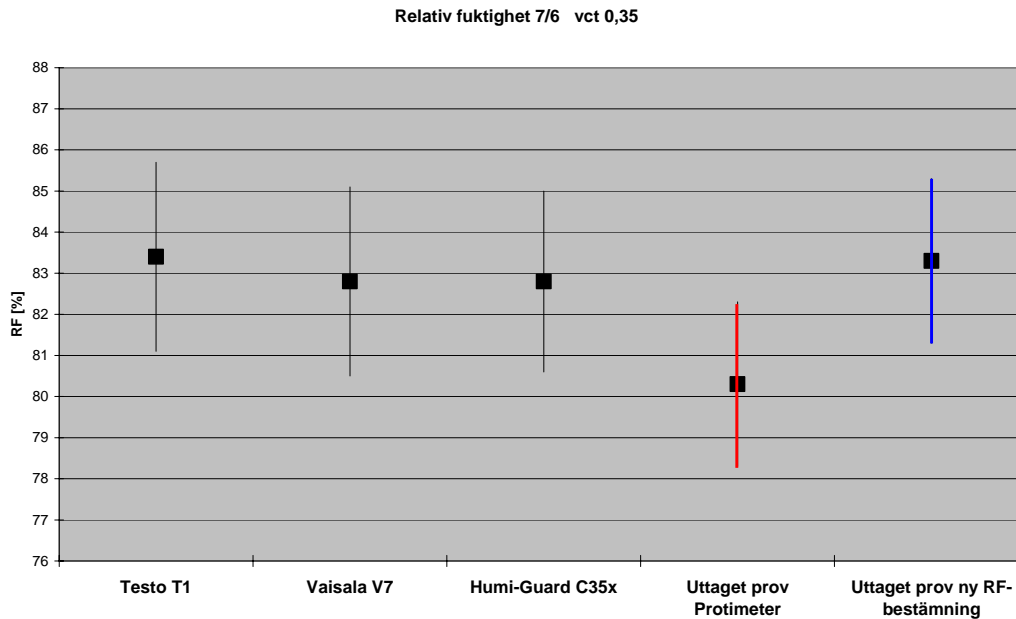
Temperaturens medelvärde för dessa mätningar är 20,9°C och vid denna temperatur alstrar saltet en RF på 85,0% RF vilket således är den RF som en ”felfri” givare borde visa. Kravet som ställs på givaren för att den ska få användas enligt Manualen är att RF vid kontrollen inte avviker mer än 1,5% RF från ”verklig” RF vilket vid denna temperatur innebär att RF inte får avvika mer än $\pm 1,5\%$ från 85,0% RF. RF ska således ligga inom intervallet 83,5 – 86,5% vilket uppfylls av samtliga givare. Om kalibrerad RF ligger utanför intervallet måste givaren kalibreras om innan den kan tas i bruk. Humi-Guard* i figuren 32 avser samma givare som på raden ovan men vid beräkning av RF har givaren flyttats till ett referensblock så att givaren använts både i mätposition och i referensposition.

4.2.1. Uttaget prov

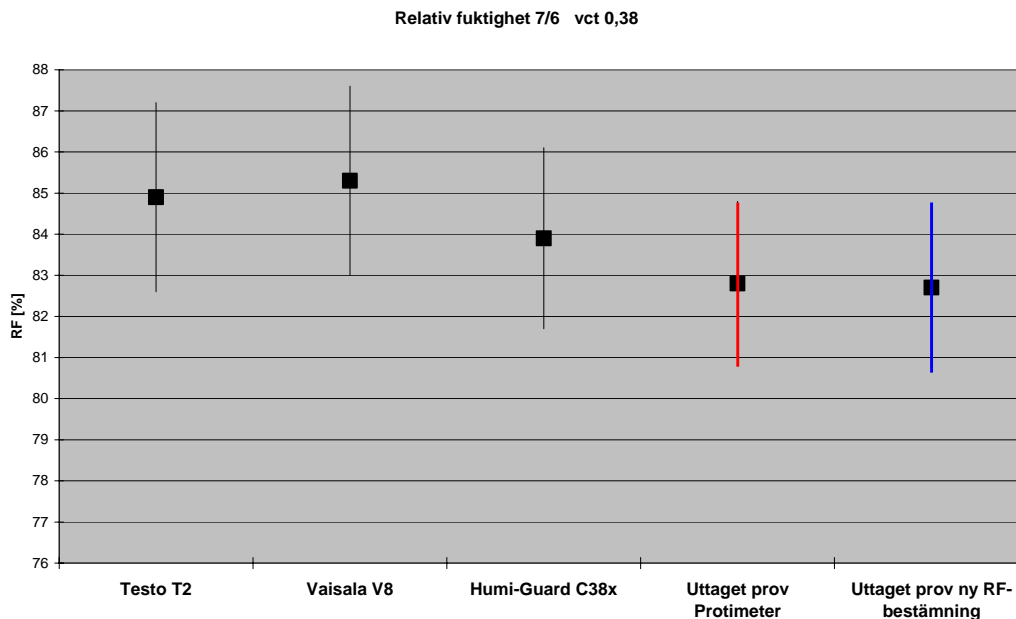
I slutet av projektet togs prover ut i de tre burkarna för RF-bestämning i lab. Resultaten redovisas i figur 33 - 35 som uttaget prov Protimeter. Resultatet från dessa RF-bestämningar låg mycket lägre än förväntat och till och med utanför systemets gränser avseende mätning i betong med vct 0.32, se figur 33. För att kontrollera rimligheten i dessa resultat utfördes ett flertal nya mätningar i samma mätrör med olika givarfabrikat.



Figur 33. Jämförelse mellan resultat från borrhålmätning och uttaget prov den 7/6, vct 0,32.



Figur 34. Jämförelse mellan resultat från borrhålmätning och uttaget prov den 7/6, vct 0,35.



Figur 35. Jämförelse mellan resultat från borrhålmätning och uttaget prov den 7/6, vct 0,38.

I figur 33 - 35 redovisas resultaten från mätning med samma givare som vid det första mättillfället under benämningen Uttaget prov ny RF-bestämning. RF ökade generellt när nya mätningar utfördes vilket indikerar att något gått snett vid den första RF-bestämningen. Manualen föreskriver att RF-bestämning endast får utföras en gång i ett provrör. Anledningen till detta är att det försvinner fukt från provet när givare avlägsnas och återmonteras i provröret. Detta medför att RF riskerar att minska för varje gång en ny givare monteras. Denna risk ökar med minskande vct. Av denna anledning är det rimligt att förmoda att redovisad RF i den nya RF-bestämningen är något för låg.



Vi lyckades inte fastställa orsaken till varför den första RF-bestämningen gav lägre resultat. Möjligen kan temperaturen vara en bidragande faktor. Klimatskåpet som användes vid RF-bestämningen höll en något lägre temperatur än normalt. Avläst temperatur under RF-bestämningen låg mellan lägsta noteringen 18,9 °C och högsta noteringen 19,5 °C dock ej för samma givare. Maximal temperaturvariation under mätning var $\pm 0,25$ °C för enskild givare.

Vid ommätningen var temperaturen stabilare med lägsta notering 19,8 °C och högsta 20,2 °C. Maximal temperaturvariation under mätning var $\pm 0,20$ °C.

En annan bidragande faktor kan vara kalibreringen av givarna eller problem med själva givarna. Daggpunktsgivarna kalibrerades 2005-03-31 och 2005-06-23. Avläst RF vid kalibrering mot RF-nivån 85% redovisas i figur 36 för de givare som använts.

Givare/mät punkt	Avläst RF vid kalibrering [85,0%] 2005-03-31	Avläst RF vid kalibrering [85,0%] 2005-06-23	Diff RF [%]	Avläst RF i provrör 2005-06-12 [%]	Avläst RF i samma provrör 2005-09-12 [%]	Diff RF [%]
DP003 / 32x	86,3	87,0	+0,7	79,8	82,5	+2,7
DP004 / 34x	86,0	86,4	+0,4	81,0	84,9	+3,9
DP005 / 38x	91,6	92,3	+0,7	89,6	89,8	+0,2

Figur 36. Avläst RF vid kalibrering och i provrör avseende daggpunktsgivarna av fabrikatet Protimeter som användes vid RF-bestämningen på de uttagna proverna.

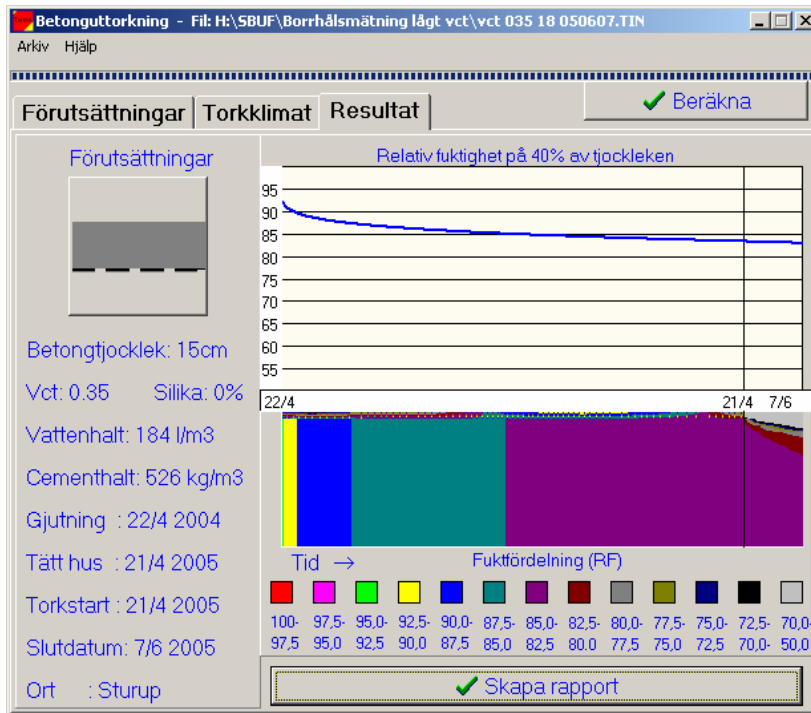
Kalibreringen indikerar en svag positiv drift från den 31/3 till den 23/6.

Kalibreringskurvorna för kalibrering 23/6 har använts för samtliga RF-bestämningar vid framtagande av kalibrerad RF och slutvärdet.

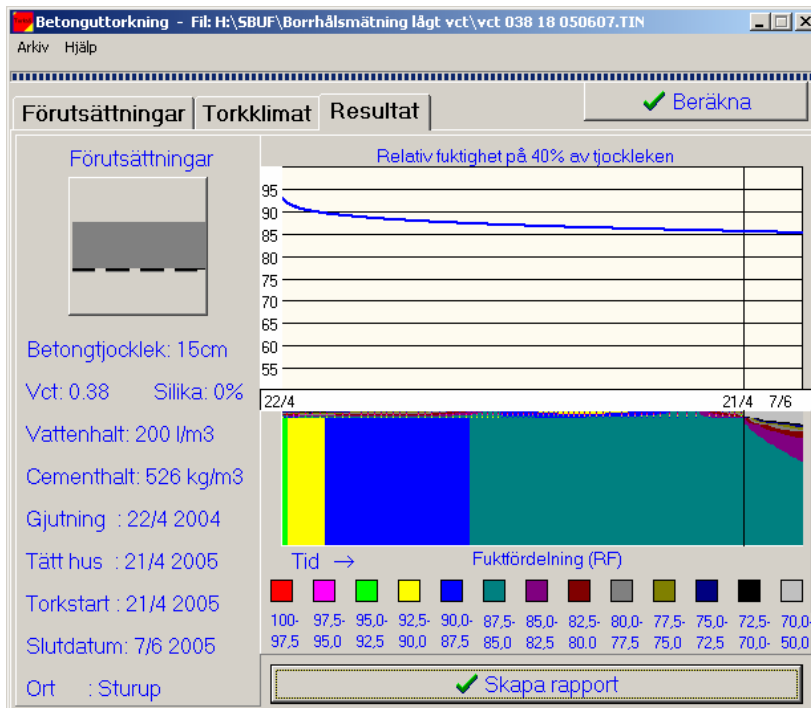
Något som är märkligt är den stora skillnaden i RF mellan avläsningarna avseende mät punkt 32x och 34x. Mätningarna är utförda i samma mätrör med samma givare och det är tveksamt att detta skulle kunna bero på drift. Min slutledning är att avläsningarna som utförts avseende mät punkt 32x och 34x den 12/6 är felaktiga men jag har inte lyckats reda ut varför. Detta är ett bra exempel på hur viktigt det är att utföra en rimlighetsbedömning av resultaten från de mätningar som utförs för att undvika fel som inte inryms i mätosäkerheten, så kallade grova fel.

4.2.2. Uppskattad RF beräknad med TorkaS 2.0

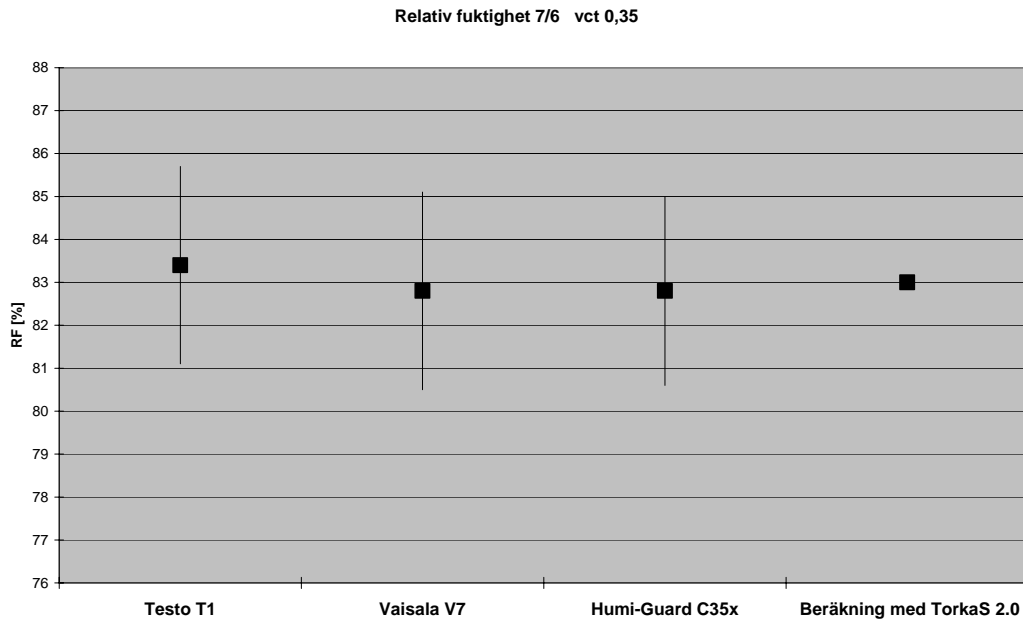
Vid beräkning av förväntad RF den 7/6 2005 med programmet TorkaS 2.0 erhålls resultatet 83% RF för vct 0,35 och 85% RF för vct 0,38. Medeltemperaturen i betongen från gjutdatum har, baserat på temperaturloggning, uppskattats till 18°C fram till avlägsnandet av locket den 21/4 2005 efter vilket temperaturen varit 20°C. Betongen förhindrades att torka genom diffusion fram till att locket avlägsnades. I beräkningen uppnås detta genom att införa ett M, membranhärdning, i indatafilen under fliken torkklimat för den tidsperiod då locket var monterat. Detta medför att betongen torkar likvärdigt över hela tvärsnittet, genom kemisk uppbindning av vattnet, vilket framgår av fuktfördelningen i figur 37 och 38.



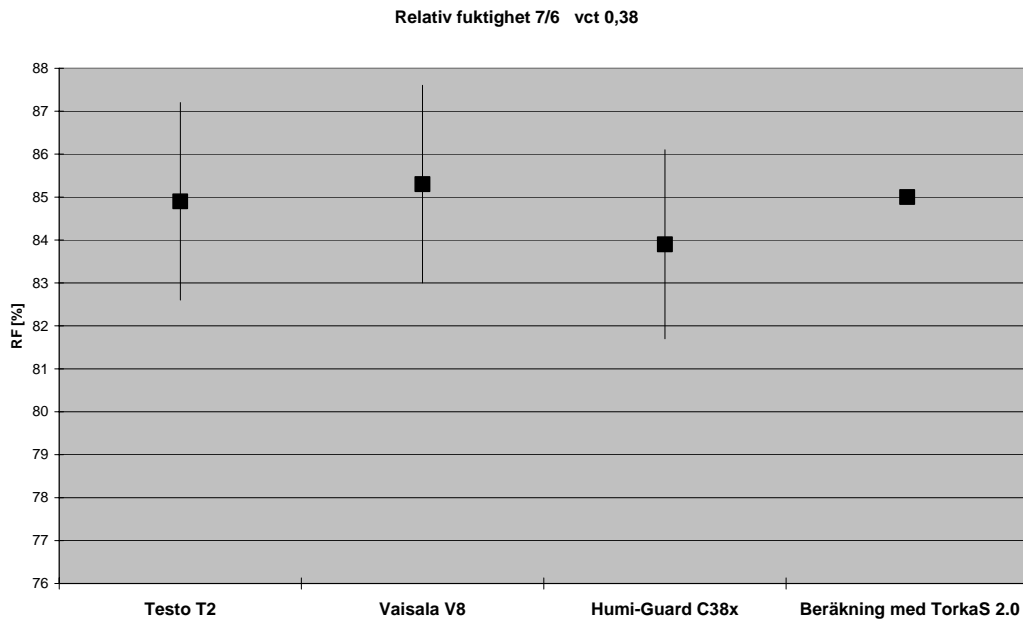
Figur 37. Skärmdump från TorkaS avseende resultatet från torkberäkning för betong med vct 0.35. Uttorkning genom diffusion påbörjas 21/4 när locket avlägsnas. RF sjunker därefter snabbare i ytan än för resterande betong vilket syns i "Fuktfördelning(RF)" ovan.



Figur 38. Skärmdump från TorkaS avseende resultatet från torkberäkning för betong med vct 0.38.

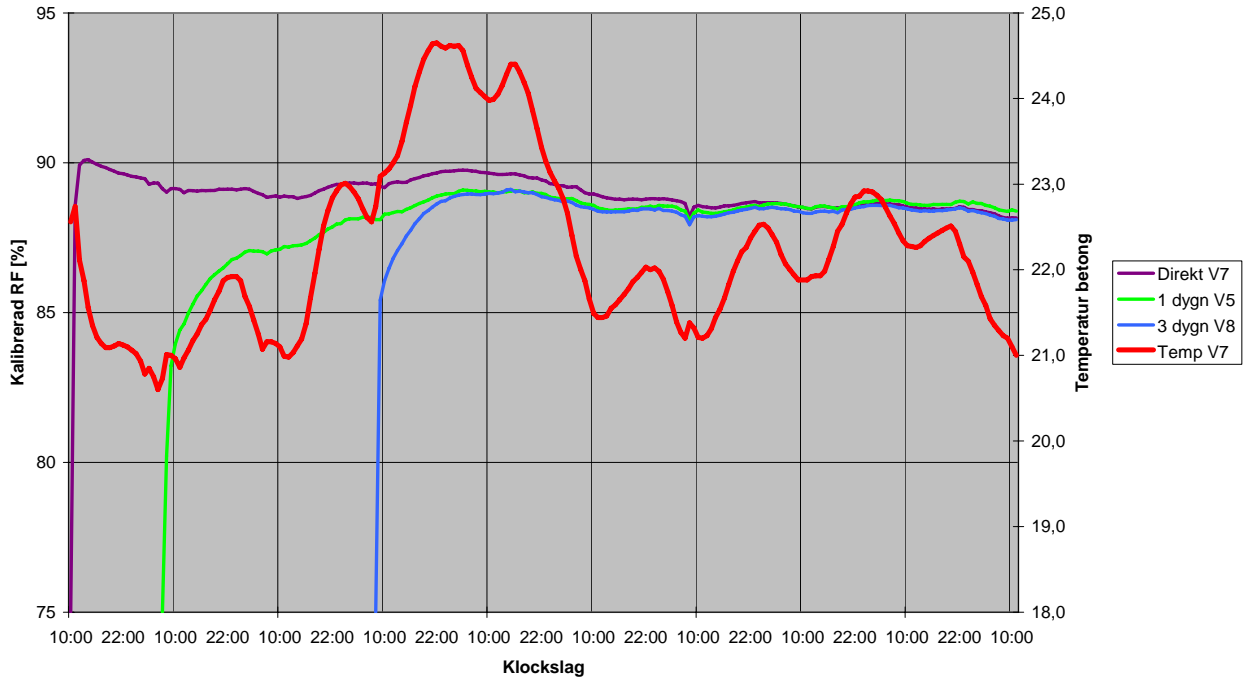


Figur 39. Jämförelse mellan uppmätt RF 7/6 och RF beräknad med TorkaS 2.0 för mätning i betong med vct 0.35.



Figur 40. Jämförelse mellan uppmätt RF 7/6 och RF beräknad med TorkaS 2.0 för mätning i betong med vct 0.38.

I figur 39 och 40 framgår att mätresultat och beräknad RF har god överensstämmelse. Beräkning av RF för betong med vct 0.32 har inte kunnat utföras eftersom programmet begränsas av intervallet 0.35 – 0.80 vad gäller betongens vct. Resultatutskrift från TorkaS redovisas som bilaga till denna rapport.

Vaisalagivare monterade vid olika tidpunkt efter borring


Figur 42. Loggad kalibrerad RF, och temperatur i betongen, för tre stycken Vaisalagivare som monterats olika lång tid efter borringen av mätåhlen.

En temperaturhöjning på ca fyra grader, i betongen, över drygt ett dygn ger genomslag i RF. Således överskrids temperaturkravet i Manualen som är $\pm 1,0$ °C under mätperioden avseende betongens temperatur. Förutsätter vi att detta påverkar de tre givarna likvärdigt kan ändå noteras att kurvan för RF avseende givaren som monterats ett dygn efter borring ansluter till RF-kurvan avseende givaren som monterats tre dygn efter borring enligt Manualen. Dessa två givare ger således likvärdigt resultat avseende RF trots att de monterats olika lång tid efter borring av mätåhlet. Detta försök indikerar att det borde finnas en möjlighet att korta tiden mellan borring och montage av givare.

Fråga 2

För att utreda om loggning med Vaisalas handenhet HMI 41 i kombination med givare HMP 44 är möjlig inom RBK-systemet jämfördes resultat från momentana avläsningar och loggning vid egenkontroll över mättade saltlösningar och vid kalibrering.

En givare RBK V8 med tillhörande handenhet RBK HMI 2 användes för försöket. Avläst RF vid egenkontroll över en saltlösning med 85% RF redovisas i figur 43.



Avläsningssätt	Datum	RF [%]
Loggning	13/9 – 14/9	76,4 – 76,5
Manuellt	14/9	76,5
Manuellt	15/9	76,7
Loggning	15/9 – 21/9	76,4 – 76,7
Manuellt	29/10	76,3
Manuellt	30/10	76,3

Figur 43. Avläst RF vid egenkontroll över mättad saltlösning, 85% RF.

Ingen större skillnad noterades således i avläst RF mellan manuell avläsning och loggning vid egenkontrollen. Under kalibreringen däremot blev skillnaden större och systematisk för samtliga RF-nivåer. I figur 44 redovisas avläst RF vid kalibrering vid nivån 85,0% RF. Försöket upprepades vid två oberoende tidpunkter med liknande resultat.

Avläsningssätt	Datum	RF [%]
Loggning	15/8	76,4
Manuellt	21/8	76,9
Manuellt	31/8	76,9
Loggning	3/9	76,0

Figur 44. Avläst RF vid kalibrering i en fuktgenerator vid RF-nivån RF 85,0%.

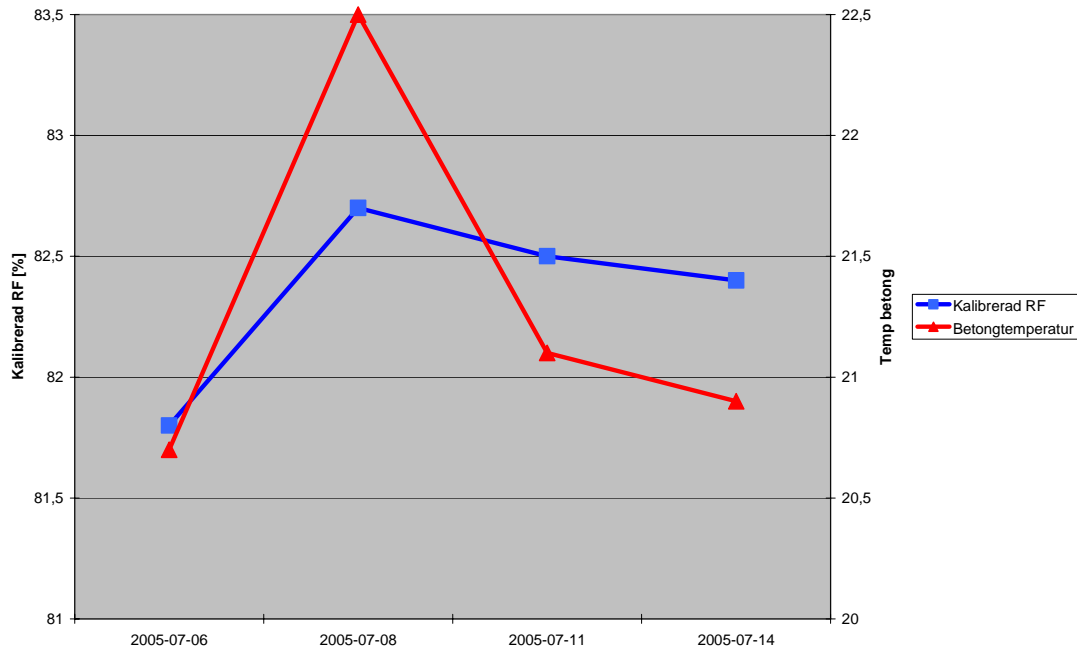
Systematiskt ger loggningen ett avläst värde som är lägre än vid manuell avläsning. Störst avvikelser mellan manuell avläsning och loggning var 1,1% RF vid RF-nivån 95%.

Detta fenomen har noterats tidigare för några år sedan vid kalibrering i en tvåtrycks fuktgenerator. En teori var då att givaren belastades med spänning under hela loggningen vilket orsakade en temperaturökning som påverkade resultatet i avläst RF. Detta verkar dock inte troligt eftersom ingen ökning i RF kan noteras vid loggning över saltlösning eller i mätbehåll utan bara då loggning utförs i fuktgeneratoren.

Orsaken har vi inte lyckats att förklara inom detta projekt och det medför att loggning med Vaisala HMP44 i kombination med avläsningsenhet Vaisala HMI41 inte kan tillåtas vid mätning inom RBK-systemet innan detta utreds ytterligare.

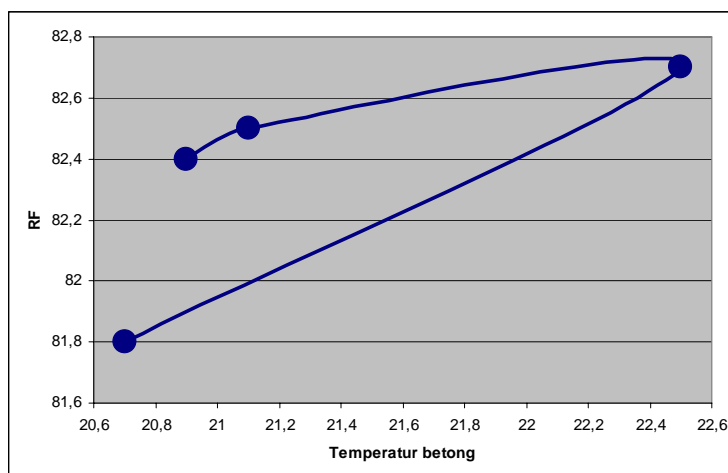
Fråga 3

Avläsning av RF med Testogivare utan microportejp som filter redovisas i figur 45.



Figur 45. RF och temperatur vid avläsning med Testogivare utan användning av microportejp som filter.

Givarna monterades den 5/7. På grund av problem med temperaturstyrningen i klimatrummet går inte resultaten att använda för att utvärdera när fuktjämvikt inträtt. Före mätning i betong utfördes en saltkontroll utan tejp på givaren. Ingen skillnad kunde urskiljas i avläst RF eller reaktionstid mot när kontrollen utförts med microportejp monterad. I figur 46 framgår tydligt hur temperatursvängningen påverkar den relativa fuktigheten i betongen.



Figur 46. RF och temperatur vid avläsning med Testogivare utan användning av microportejp som filter



5. Slutsatser

Den viktigaste slutsatsen som kan dras av detta projekt är att RF-mätning i borrhål i betong med lågt vct som utförs enligt Manual – fuktmätning i betong levererar resultat som ligger inom angiven mätosäkerhet. En förutsättning för detta är dock att, vid mycket låga vct eller när RF i betongen närmar sig 85% RF, vänta tillräckligt länge för att fuktjämvikt ska inträda, och inte gå på minimivärdet 48 timmar, mellan givarmontage och avläsning. Ytterligare en förutsättning är att det utförs en rimlighetsbedömning av mätresultaten för att undvika grova fel men detta är lika viktigt vid mätning i betong med högre vct.

Ett absolut måste är att fortlöpande utföra egenkontroller av givarna för att upptäcka om givarna driver iväg utanför systemets gränser.

Projektet har visat på en direkt brist i systemet som måste rättas till och även visat på justeringar som kan höja systemets kvalite. Detta har beaktats i version 4 av Manuala – fuktmätning i betong /3/ som ersätter version 3 från och med 2006-01-01. Följande saker har införts i manualen som en direkt följd av detta projekt.

- Vid borrhålmätning med givare av fabrikatet Vaisala ska gummipluggen som tätar mellan mätrör och givarkabel förseglas med **tätningssmassa**. Annars finns det risk för läckage vilket ger ett felaktigt mätvärde.
- En rutin, med tillhörande blankett för dokumentation, avseende efterkontroll har införts gällande givare av fabrikatet Humi-Guard vilket saknades tidigare. Denna rutin har använts och utvärderats inom detta projekt. Denna rutin möjliggör att en givare som suttit monterad i ett borrhål kan demonteras för en efterkontroll. Tidigare utfördes en kontroll genom att en ny mätning utfördes bredvid den mätpunkt som skulle kontrolleras. Detta sätt att kontrollera en mätning är behäftad med en mycket större osäkerhet än den nya metoden. Metoden innebär även att ett mätresultat kan erhållas i den kontrollerade mätpunkten med en lägre mätosäkerhet än vid ordinarie mätning med Humi-Guard.
- En rutin, med tillhörande blankett för dokumentation, avseende egenkontroll av RF-givare av fabrikatet Vaisala och Testo har införts. Denna kontroll kallades ”Kontroll av kalibrering” i version 3 av Manualen /1/ vilket skapat förvirring och blanketter för dokumentation har efterfrågats. Denna rutin har använts och utvärderats inom detta projekt.
- Manualen har kompletterats med avsnitt som behandlar rimlighetsbedömning av mätresultat.

Projektet har även visat på möjligheten att korta ner tiden mellan borring av mäthål och montage av givare som idag är tre dagar till en dag. För att verifiera detta måste dock mätningar utföras vid flera RF-nivåer, olika vct och med samtliga givarfabrikat som ingår i systemet.



Litteraturförteckning

- /1/ Manual fuktmätning i betong, version 3, daterad 2001-04-02, Sveriges Byggindustrier.
- /2/ Monica Pastrav, Moisture and temperature measurement in concrete. Risk for misleading results when measuring in drilled holes, Proceedings of the 2nd Symposium, Building physics in the Nordic countries, Trondheim, Norway 20 – 22 august 1990.
- /3/ Manual – Fuktmätning I betong, version 4, Sveriges Byggindustrier 2005.
- /4/ SBUF-rapport, 11433, Uttorkning av betong med lågt vct – Inverkan av härdningssätt av Fredrik Gränne, NCC-Teknik, 2005.