

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
LUNDS UNIVERSITET

Avd Byggnadsmaterial

UTTORKNING AV BETONG

-Laboratoriestudien bakom TorkaS3

Peter Johansson

Rapport TVBM-3165

Lund 2012

INNEHÅLL

1	BAKGRUND	6
2	UTTORKNINGSFÖRSÖK.....	7
2.1	MATERIAL.....	7
2.2	METOD	7
2.2.1	Gjutning och exponering.....	7
2.2.2	Mätning av RF och temperatur.....	9
2.3	RESULTAT	14
2.3.1	Temperaturutveckling	14
2.3.2	Uttorkningshastighet	17
2.4	SAMMANFATTNING AV RESULTAT	30
2.4.1	Temperaturutveckling	30
2.4.2	Uttorkningshastighet	30
3	UTVÄRDERING AV METODER FÖR MÄTNING AV RF.....	32
3.1	INLEDNING	32
3.2	MATERIAL.....	32
3.3	METOD	32
3.3.1	Viktsförlust vid uttaget prov och dess effekt	32
3.3.2	Jämförelse mellan Vaisala- och HumiGuard-givare monterad i prov samt på uttaget prov.....	33
3.3.3	Jämförelse mellan olika mätmetoder med Vaisala-givare	35
3.4	RESULTAT	36
3.4.1	Viktsförlust för uttaget prov och dess effekt.....	36
3.4.2	Jämförelse mellan Vaisala- och HumiGuard-givare monterad i prov samt på uttaget prov.....	38
3.4.3	Jämförelse mellan olika mätmetoder med Vaisala-givare	41
3.5	SLUTSATS OCH DISKUSSION	46

4	GJUT- OCH LAGRINGSTEMPERATURENS INVERKAN PÅ BETONGENS SJÄLVUTTORKNING.....	47
4.1	INLEDNING	47
4.2	METOD	47
4.3	RESULTAT	47
5	SLUTSATS OCH DISKUSSION	50
6	REFERENSER.....	52
7	BILAGA.....	53
7.1	Recept för gjutningar vid 5°C.....	53
7.2	Recept för gjutningar vid 20°C.....	54
7.3	Recept för gjutningar vid 30°C.....	55
7.4	Provplan och resultatsammanställningar för uttorkningsförsök	56
7.5	Provplaner och resultatsammanställningar för försök med syfte att jämföra olika metoder för RF-mätning	65

1 BAKGRUND

Målsättningen med studien var att ta fram mätdata som underlag för revidering av det datorbaserade prognosverktyget TorkaS, Arfvidsson och Hedenblad (2007). Med prognosverktyget kan uttorkningshastigheten hos betonger av varierande sammansättning predikteras utifrån indata som exempelvis omgivande förutsättningar och klimat samt betongen sammansättning. Vid projektets start samlades information in om vilka betongkvaliteter som vanligen förekommer inom husbyggnadssammanhang i Sverige och också vilka gjut- och härdningsklimat som kan vara aktuella. För att kunna genomföra nödvändiga laboratorieförsök inom en för projektet rimlig omfattning beslutades att betonger med tre olika vattencementtal skulle tillverkas samt att ett standardcement (Byggcement) skulle användas som bindemedel för alla vattencementtal och som tillägg för det lägsta vattencementtalet användes också ett snabbhärdande cement (SH-cement). Syftet med att prova SH-cement var att klargöra om ett byte av bindemedel kunde vara en möjlig väg att nå snabbare uttorkning. Härdningsförhållanden, gällande temperatur och relativ fuktighet, varierades för de olika proven för att efterlikna härdning vid olika årstider. Alla försök genomfördes i avdelning Byggnadsmaterials laboratorium vid LTH.

Provplanen godkändes av projektets referensgrupp vilken bestod av:

- Professor Jesper Arfvidsson, avdelning Byggnadsfysik, LTH
- Niklas Johansson, Cementa Research (nu Sika Sverige)
- Professor Lars-Olof Nilsson, avdelning Byggnadsmaterial, LTH
- Karin Pettersson, Sweroc (nu Weber Saint-Gobain)
- Ted Rapp, Sveriges Byggindustrier
- Anders Sjöberg, Tyréns AB (nu Sto Scandinavia AB)

2 UTTORKNINGSFÖRSÖK

2.1 MATERIAL

Vid uttorkningsförsöken provades fyra olika betonger med tre olika vattencenttal (vct) vilka var 0,38, 0,45 och 0,65. För samtliga vct användes Byggcement, Cementa AB Sverige, med ett varierande innehåll av obränd och mald kalksten mellan 13-15 viktsprocent som fanns tillsatt i bindemedlet enligt tillverkaren. Betong med vct 0,38 blandades också i en variant med snabbhärdande cement som bindemedel (SH-cement), Cementa AB Sverige. Sammansättningen hos de provade betongerna valdes så att dessa skulle representera de som vanligen används inom den svenska husbyggnadssektorn, se tabell 2.1. Kravet på bearbetbarhet motsvarade ett sättmått av 150 mm vilket var målet vid alla gjutningar. Recepten enligt tabell 2.1 utgör en sammanställning av recept från fabriksbetongtillverkare inom Sverige och ska endast betraktas som schablonmässiga. Eftersom ballastens utformning varierar mellan olika områden i landet varierar också betongens vattenbehov beroende av ballast vilket resulterade i att ett flertal provgjutningar genomfördes och recepten enligt tabell 2.1 justerades.

Gjutningar gjordes vid temperaturerna 5°C, 20°C och 30°C för alla vct där blandningar vid en viss temperatur göts under samma dag. Vid gjutdagens början mättes det genomsnittliga fuktinnehållet i den ballast som skulle användas under dagen. Recepten justerades därefter med hänsyn till fuktinnehåll i ballast samt den efterfrågade bearbetbarheten (150 mm sättmått). I tabell 7.1–7.9 redovisas uppmätt fuktinnehåll i ballast samt hur ursprungliga recept justerats till slutgiltiga. I tabellerna redovisas också

Tabell 2.1 Recept för provade betonger av respektive vattencenttal samt delmaterial angivna som vikt per volymenhet (kg/m³).

Vattencenttal	0,38	0,45	0,65
Bindemedel (Byggcement)*	450	420	320
Vatten	171	189	208
Ballast (0-8mm)	880	904	977
Ballast (8-12mm)	440	417	400
Ballast (12-16mm)	440	417	399
Flyttillsats (Sika Evo 26)	1,13	0,84	0,32

**Även SH-cement som bindemedel för vct 0,38*

2.2 METOD

2.2.1 Gjutning och exponering

Uttorkningshastigheten undersöktes för betonger med vct 0,38, 0,45 och 0,65 där härdningsförhållanden varierades på olika sätt för att efterlikna verkliga förhållanden. Totalt provades 49 olika varianter, se provplan i tabell 7.10. Som gjutform användes 5 liters cylindriska plåtburkar med möjlighet att montera lock av plåt för försegling, se figur 2.1. Formarna hade diametern 200 mm och höjden 150 mm och proven lagrades i formarna under hela härdningsförloppet.

För att i så stor utsträckning som möjligt efterlikna verkliga härdningsförhållanden under olika årstider så göts- och lagrades de provade betongkvaliteterna vid temperaturerna 5°C, 20°C och 30°C. Gjutningar vid 5°C genomfördes i klimatrum där ballast, blandningsvatten och blandare lagrades i det aktuella klimatet cirka ett dygn före gjutning för att anta klimatrummets temperatur. För att hålla temperaturen i samband med gjutningarna vid 20°C krävdes inga åtgärder utan dessa kunde genomföras i ordinarie betonglaboratorium. Vid gjutningarna med målsättning att hålla 30°C fick ballasten värmas till cirka 30°C och blandningsvattnet värmdes ytterligare till mellan 40-45°C för att kompenseras att blandningen skedde i betonglaboratoriet som var rumstempererat där också blandaren var uppställd. I samband med gjutningarna mättes betongtemperaturen i blandaren samt i formar både vid gjutning och direkt efter att proven placerats i klimatrum. Avvikelsen mellan önskad och verklig betongtemperatur var mindre än $\pm 1,5$ °C för alla varianter. Att dessa relativt små avvikelser kunde klaras var till stor del beroende av att blandning/gjutning skedde i klimatrum eller direkt anslutning till dessa. Under pågående gjutning transporterades prov succesivt in i klimatrum vilket sannolikt också var en bidragande faktor för att klara små temperaturavvikelser.

Proven försågs med utvändig värmeisolering under härdningsförloppets tidiga skede för att temperaturutvecklingen skulle efterlikna den i en verklig betongplatta på mark med halvoändlig utbredning och underliggande värmeisolering. För att uppfylla detta placerades formarna på en 150 mm tjock cellplast och runt mantelytan monterades mineralullsisolering med tjockleken 100 mm. Alla prov förutom de med betongtäckmatta, se tabell 7.10, var oisolerade på överytan. Isoleringen demonterades när proven antagit omgivande lagringsklimat vilket normalt inträffade senast efter en vecka från gjutning.

En del av proven tilläts torka och exponerades i de fallen för en kontrollerad relativ fuktighet medan andra prov var förseglade under hela härdningsförloppet, se tabell 7.10. På de förseglade proven monterades lock i samband med gjutning och för att säkerställa tätning mellan form och lock så applicerades en mjukfog. Under härdningsförloppet kontrollerades förseglingen regelbundet genom vägning av proven. Under första månaden lagrades proven i följande klimat: 5°C/80 % RF, 20°C/55 % RF och 30°C/35 % RF. Efter 1 månad i olika härdningsklimat flyttades alla prov till klimatet 20°C/55 % RF vilket motsvarar då man i det verkliga fallet får en tät byggnad och med detta kan styra torkklimatet. En serie av prov exponerades för kontinuerlig vattenbegjutning under två veckor från och med gjutning för att efterlikna fallet då betong utsätts för regn tidigt under härdningsskedet, se tabell 7.10. Efter vattenbegjutningen tilläts proven torka i respektive lagringsklimat.

Syftet med lagring i olika klimat första månaden var ett efterlikna verkliga härdningsförhållanden vid olika årstider. För sommarfallet var gjut- och lagringstemperatur samma där alternativen var 20°C eller 30°C. Gjuttemperaturerna för vinterfallet var 5°C eller 30°C medan lagringstemperaturen i båda fallen var 5°C. Syftet med att använda varm betong (30°C) i vinterfallet var att klara ut om detta kunde vara ett alternativ att nå snabbare uttorkning. Som alternativ till varm betong användes betongtäckmatta av polyetencellplast med tjocklek 9 mm och värmeledningsförmåga 0,04 W/mK enligt tillverkare (NOMATEC, KB-produkter, Kvillsfors, Sverige). Effekten av betongtäckmatta provades i vinterfallet på betong med gjuttemperatur 5°C men också i sommarfallet med gjut- och lagringstemperatur 20 °C. Betongtäckmattan monterades vid gjutning och togs bort ett dygn senare.

2.2.2 Mätning av RF och temperatur

Fyra provkroppar, a-d, tillverkades för var variant vilka alla göts samtidigt från samma blandning samt hanterades och lagrades likvärdigt. Provkropp a-c användes för RF-mätning på uttaget prov där provtagningen genomfördes först på provkropp a som därmed var förbrukad och vid senare tidpunkter på prov b och c. Det huvudsakliga syftet med referensprovkroppen d var att kunna följa uttorkningsförloppet och avgöra lämplig tidpunkt för att ta uttaget prov.

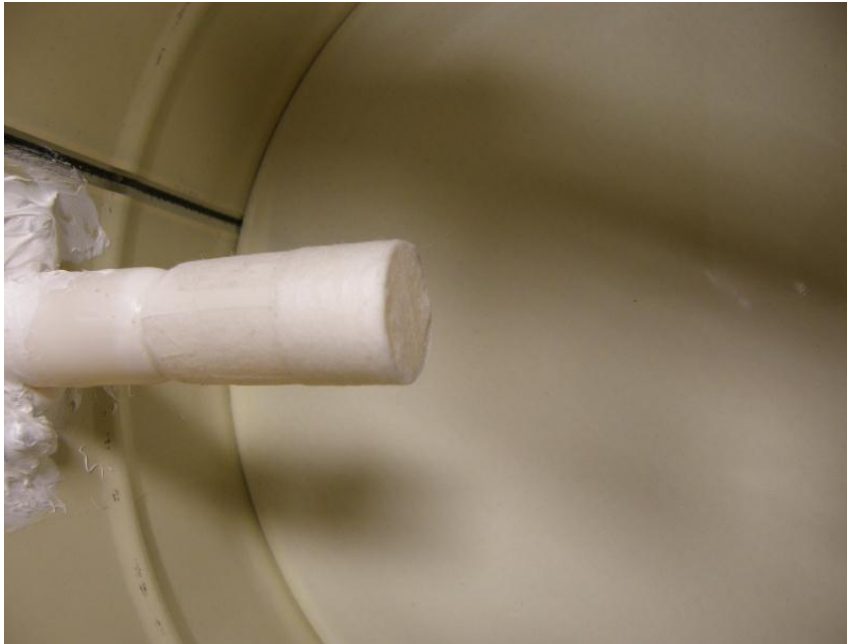
Provkropp d var referensprov och försågs med en kvarsittande givare för mätning av RF och temperatur av fabrikat HumiGuard (Nordisk Industrifysik AB, Järfälla, Sverige), se figur 2.1. Före gjutning monterades mätrör av plast på mät djupet 60 mm vilket motsvara 40 % av provets höjd (150 mm). Röret monterades genom mantelytan och tilläts gå cirka 60 mm in mot provets centrum och öppningen mot betongen försågs med kirurgisk tejp för att förhindra den färska betongen att rinna in men samtidigt tillåta fuktutbyte, se figur 2.2. Givaren monterades i röret efter en viss tid från gjutning då RF bedömdes vara lägre än 95 %. Vid något tillfälle överskred RF 95 % och då demonterades givaren i avvaktan på vidare uttorkning och en ny givare monterades vid ett senare tillfälle. Före montering avlägsnades eventuellt kondensvatten från mätrörets insida. Parallellt med mätningen på provkropparna så genomfördes mätning på referensgivare monterade i referenscell, där denna lagrades i samma utrymme som provkropparna.



Figur 2.1 Behållare (5 liter) och lock av plåt som form för prov. Ingjutet plaströr (se pil) för montering av RF-givare, HumiGuard.

Förutom att temperaturen mättes med HumiGuard-givaren, vilken mätte betongtemperaturen indirekt eftersom det fanns luft mellan givare och betong, mättes temperaturen också direkt i betongen med hjälp av ingjutet termoelement. Detta monterades på mätrörets utsida (inne i provet) invid mätrörets öppning vilket innebär 60 mm från provets övre yta och 60 mm in från mantelytan. Termoelementen var kopplade till en datoransluten insamlingsenhet och

mätutrustningen kontrollerades mot en precisionskammare för RF och temperatur (Thunder scientific 2500).



Figur 2.2 Ingjutet plaströr, sett från insida gjutform, för montering av HumiGuard RF-givare och försett med kirurgisk tejp som hinder mot färsk betong.

Mätning av RF på proven a-c gjordes enligt principen för uttaget prov vilket inleddes med att formen demonterades. Första steget var att öppna skarven i formens mantel med hjälp av en tång, se figur 2.3-2.4. Därefter vändes formen med botten upp och provet kunde separeras från formen genom att knacka på formens botten med en mjuk hammare.



Figur 2.3 Demontering av prov från form sker genom att mantel delas vid befintlig skarv med hjälp av tång.



Figur 2.4 Demontering av prov från form sker genom att mantel delas vid befintlig skarv med hjälp av tång. När mantelplåten öppnats tillräckligt, som på bild, vänds provet upp och ner varpå prov lossnar från form.

Efter avformning placerades provet i en hydraulisk press för spräckning, se figur 2.5. Målet med spräckning var att ta bort yttre delar närmast mantelytan medan provet var oförändrat i höjddled. Spräckningen genomfördes i fyra steg där cirka en fjärdedel av mantelytan, betraktat från provets övre yta, avlägsnades per steg. Slutligen återstod ett prov i form av ett rätblock med den ungefärliga sidan 50 mm och provets oförändrade höjd 150 mm, se figur 2.6.



Figur 2.5 Hydraulisk press för spräckning av prov som demonterats ur form.



Figur 2.6 Kvarvarande prov i form av rätblock efter att yttre delar nära mantelyta spräckts bort med hydraulisk press. Provets höjd var oförändrad, 150 mm, och sidan cirka 50 mm efter spräckning.

Inför RF-mätningen på uttaget prov bilades provbitar ut från djupen 0-20 mm, 50-70 mm och 130-150 mm, se figur 2.7. Provbitarna placerades i glasrör allt eftersom de togs ut, figur 2.8. Glasrören förseglades med gummikork i väntan på fuktmätning.



Figur 2.7 Från rätblock enligt figur 2.6 tas prov ut från tre djup, 0-20 mm, 50-70 mm och 130-150 mm, med hjälp av bilningsmaskin.



Figur 2.8 Uttagna provbitar från respektive djup placeras i glasrör som förseglas med gummikork i väntan på RF-mätning.

RF-mätningen på de uttagna proven gjordes med givare av fabrikat Vaisala och modell HMP44 (Vaisala Oyj, Helsingfors, Finland). Givarna var kopplade till en datoransluten insamlingsenhet vilken möjliggjorde att mätresultaten kunde registreras som funktion av tid. Före mätning på de uttagna proven konditionerades dessa i klimatkammare tillsammans med RF-givarna för att minimera fel orsakade av temperaturskillnader. I klimatkammaren där konditionering och mätning gjordes var temperaturen $20 \pm 1^\circ\text{C}$ och RF $55 \pm 1\%$. Före varje mätning kontrollerades givarna vid temperaturen 20°C och RF i stegen 75, 85, 90 och 95 % under en varaktighet av minst 6 timmar vid respektive steg för att uppnå jämvikt. Detta gjordes genom att de placerades i precisionsfuktkammare (Thunder scientific 2500) och anslutningskablar drogs ut genom sluss så att avläsning kunde ske löpande. Fuktgeneratorns mätosäkerhet var $\pm 0,45\%$ RF och $\pm 0,03^\circ\text{C}$. Vid RF-mätning i glasrören på de uttagna proven, se figur 2.9, monterades givaren tidigast tre dagar efter att proven togs ut och mätningen avslutades senast 10 dagar efter det att proven tog ut, vilket är enligt Rådet för ByggKompetens (RBK) fuktmätningrutin (Manual, Fuktmätning i betong, version 5, 2010, Sveriges Byggindustrier). Under RF-mätningen registrerades mätvärden som funktion av tid för säkerställande av tillräcklig jämvikt mellan prov och givare. Jämviktsläget bedömdes genom extrapolering av det registrerade sambandet RF-tid mot oändligheten och då avvikelsen mellan det aktuella värdet och det uppskattade slutvärdet understiga 0,1 % RF så valdes det aktuella värdet. Det uppställda jämviktskriteriet uppnåddes vanligen efter cirka två dygn för prov med lågt vct och efter något kortare tid för prov med högre vct.

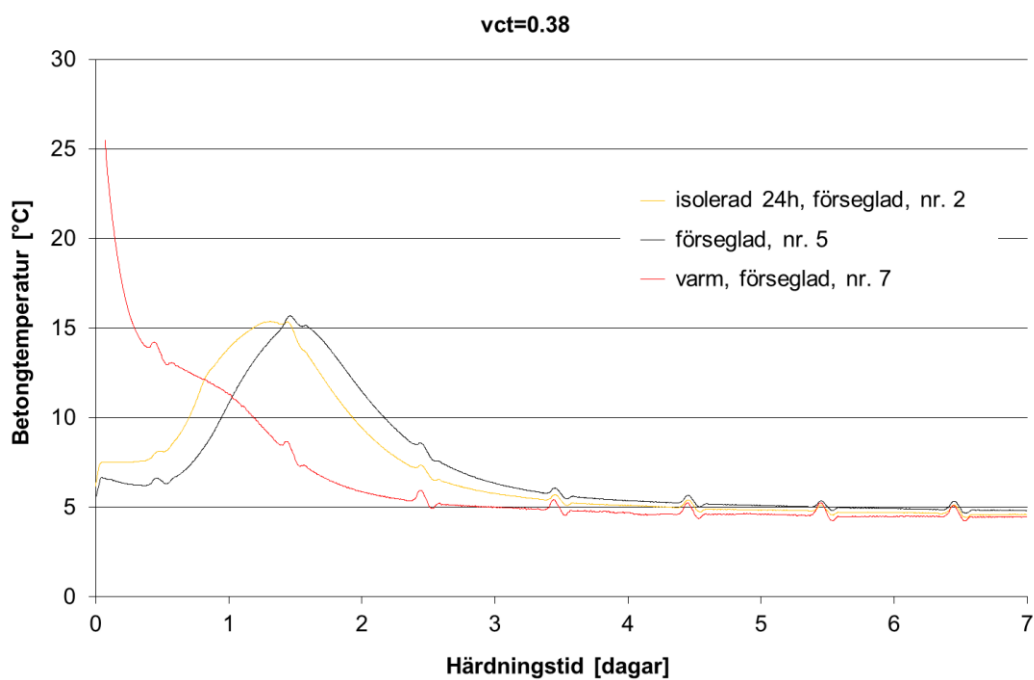


Figur 2.9 Mätning av relativ fuktighet på uttagna prov placerade i provrör med givare av fabrikat Vaisala.

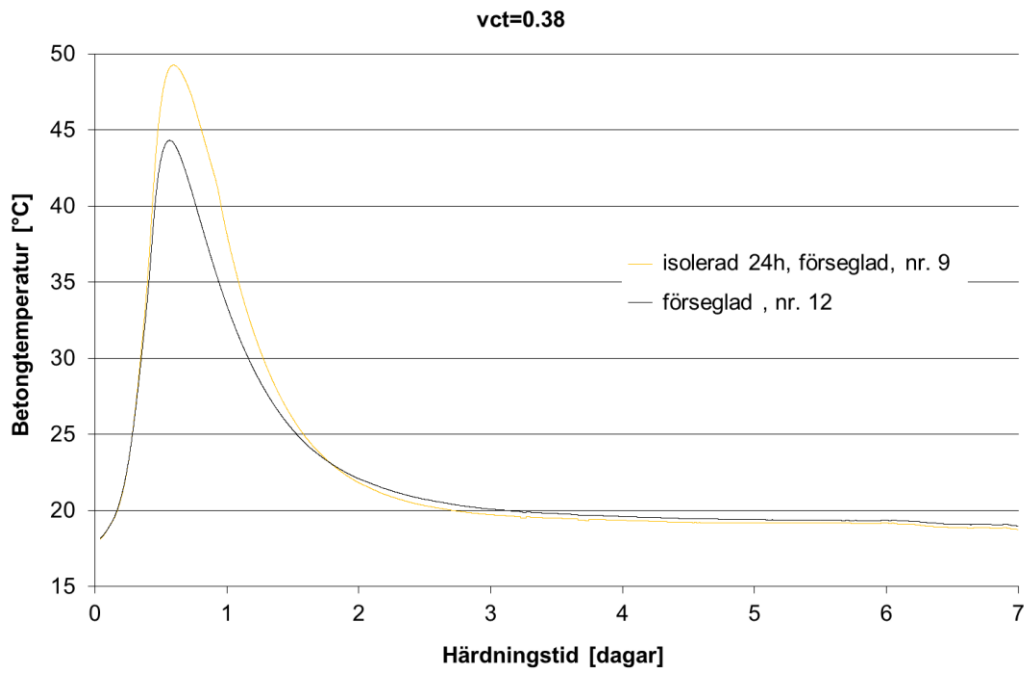
2.3 RESULTAT

2.3.1 Temperaturutveckling

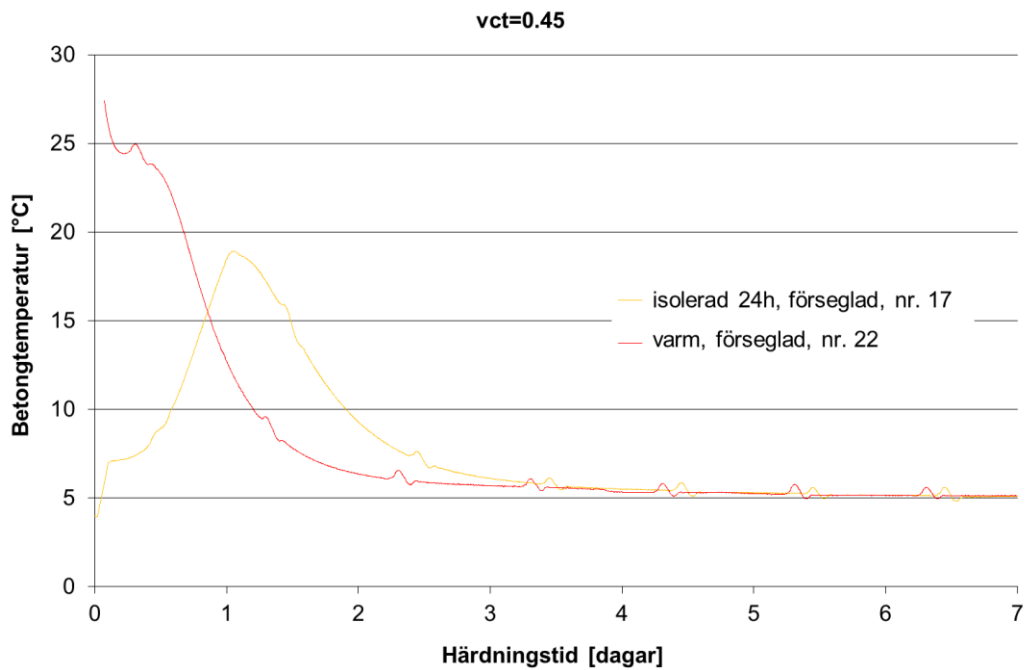
Under det tidiga härdningsförloppet mättes och registrerades betongtemperaturen som funktion av tiden för utvalda prov, se tabell 7.10. Mätningar genomfördes på prov med vattencementtalen 0,38, 0,45 och 0,65 och Byggcement som bindemedel. Proven lagrades i temperaturerna 5°C, 20 °C och 30 °C. Resultaten redovisas i figur 2.9-2.14 nedan där resultat från prov lagrade i 30 °C saknas på grund av att mätutrustningen slutade fungera under första dygnet.



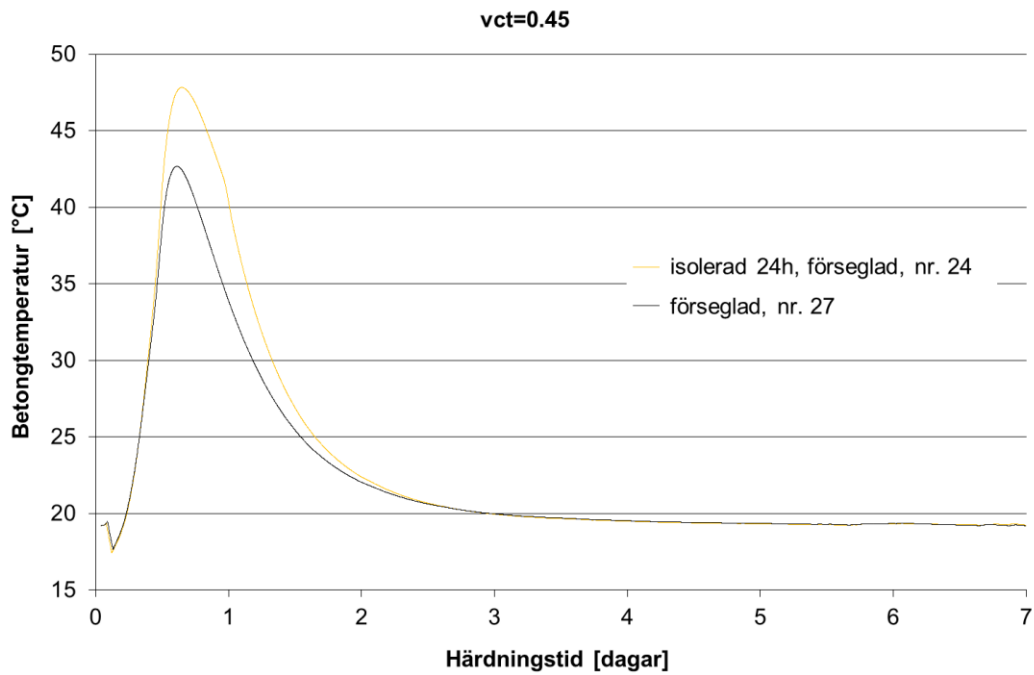
Figur 2.10 Betongtemperatur mätt centriskt i prov på djupet 60 mm som funktion av härdningstid. Lagringsklimat 5°C och 80 % RF.



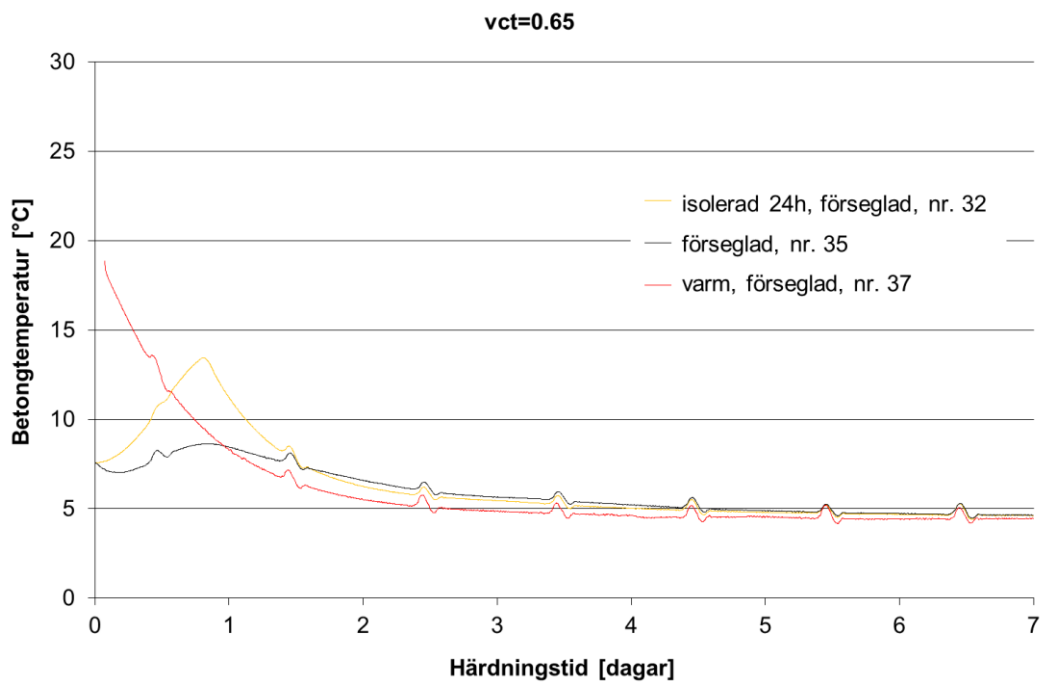
Figur 2.11 *Betongtemperatur mätt centriskt i prov på djupet 60 mm som funktion av härningstid. Lagringsklimat 20°C och 55 % RF.*



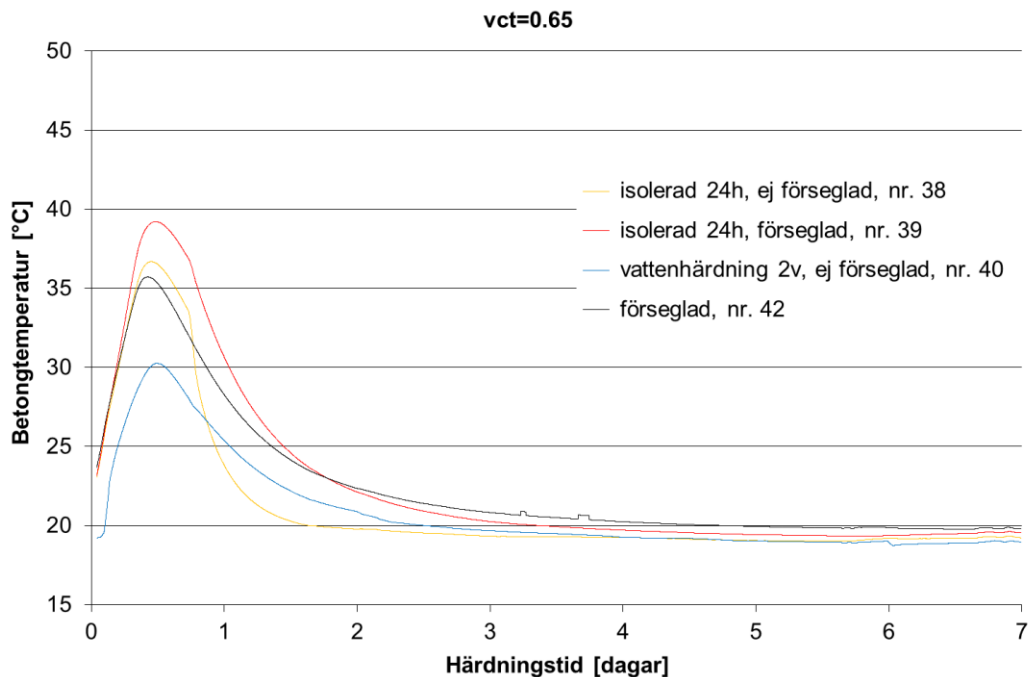
Figur 2.12 *Betongtemperatur mätt centriskt i prov på djupet 60 mm som funktion av härningstid. Lagringsklimat 5°C och 80 % RF.*



Figur 2.13 *Betongtemperatur mätt centriskt i prov på djupet 60 mm som funktion av härningstid. Lagringsklimat 20°C och 55 % RF.*



Figur 2.14 *Betongtemperatur mätt centriskt i prov på djupet 60 mm som funktion av härningstid. Lagringsklimat 5°C och 80 % RF.*



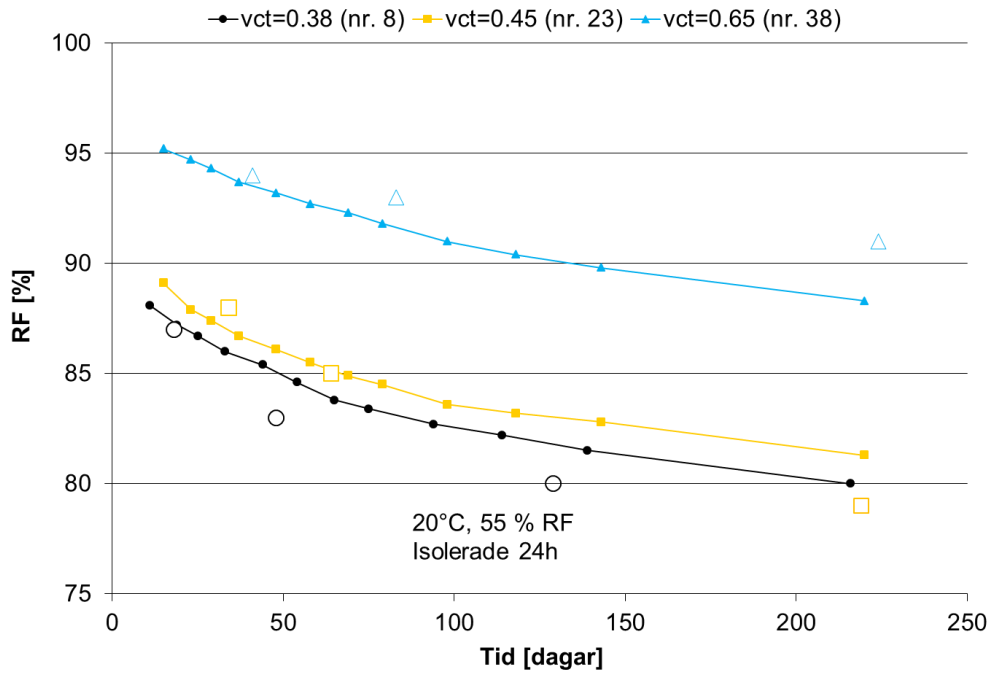
Figur 2.15 Betongtemperatur mätt centriskt i prov på djupet 60 mm som funktion av härdningstid. Lagringsklimat 20°C och 55 % RF.

2.3.2 Uttorkningshastighet

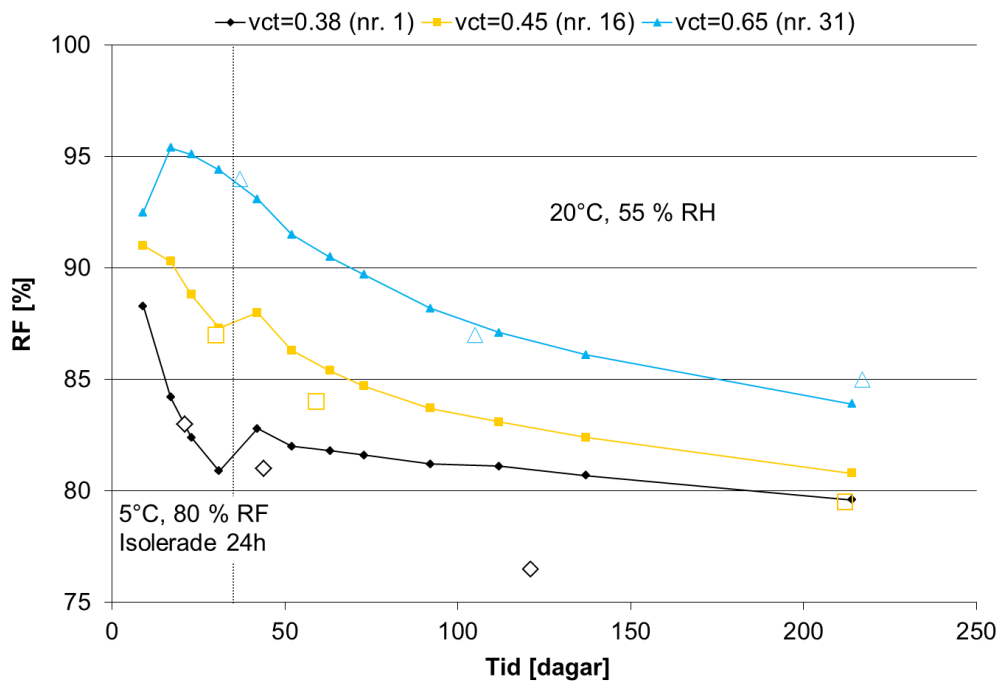
Resultaten från samtliga uttorkningsförsök som genomfördes enligt provplan i tabell 7.10 finns redovisade i tabellform med mätresultat från uttaget prov i tabell 7.11 och från mätning med kvarsittande givare i tabell 7.12.

I figurerna 2.16-2.27 nedan visas exempel på resultat från uttorkning av betonger med Byggcement och vct 0,38, 0,45 och 0,65 enligt provplan i tabell 7.10. I figurerna visas relativa fuktigheten som funktion av härdningstid. Fuktmätningen genomfördes enligt två olika principer, se avsnitt 2.2.2, där mätresultat från uttaget prov (mätdjup 50-70 mm) redovisas som ofyllda punkter och resultat från kvarsittande givare (mätdjup 60 mm) redovisas som fyllda punkter sammanbundna med linje. I figurernas övre förklaringsfält anges vct samt om betongen är varm (30°C) vid start av härdning eller försedd med isolering av betongtäckmatta första dygnet. Där anges också provens nummer vilka är enligt provplan i tabell 7.10.

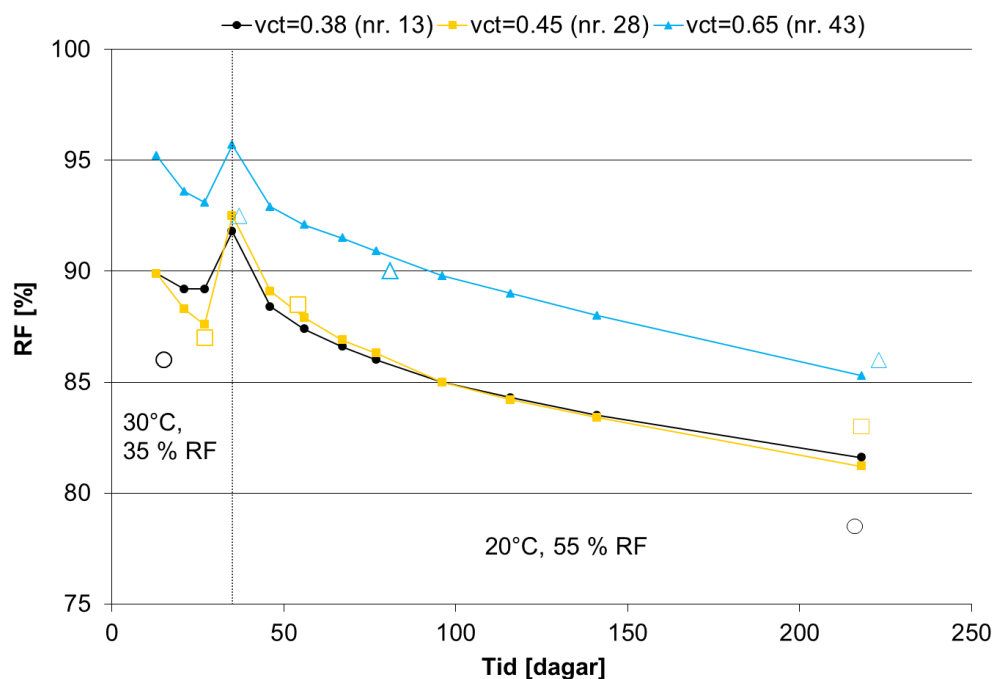
Figur 2.16 visar uttorkningshastighet för betonger, representerande alla vct, vilka var försedda med betongtäckmatta första dygnet och tilläts sen torka i klimatet 20°C/ 55 % RF. I figurerna 2.17 och 2.18 jämförs effekten av härdning i låg (5°C) respektive hög temperatur (30°C) första månaden för de olika betongkvaliteterna.



Figur 2.16 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarsittande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje). Samtliga varianter var försedda med betongtäckmatta första dygnet.

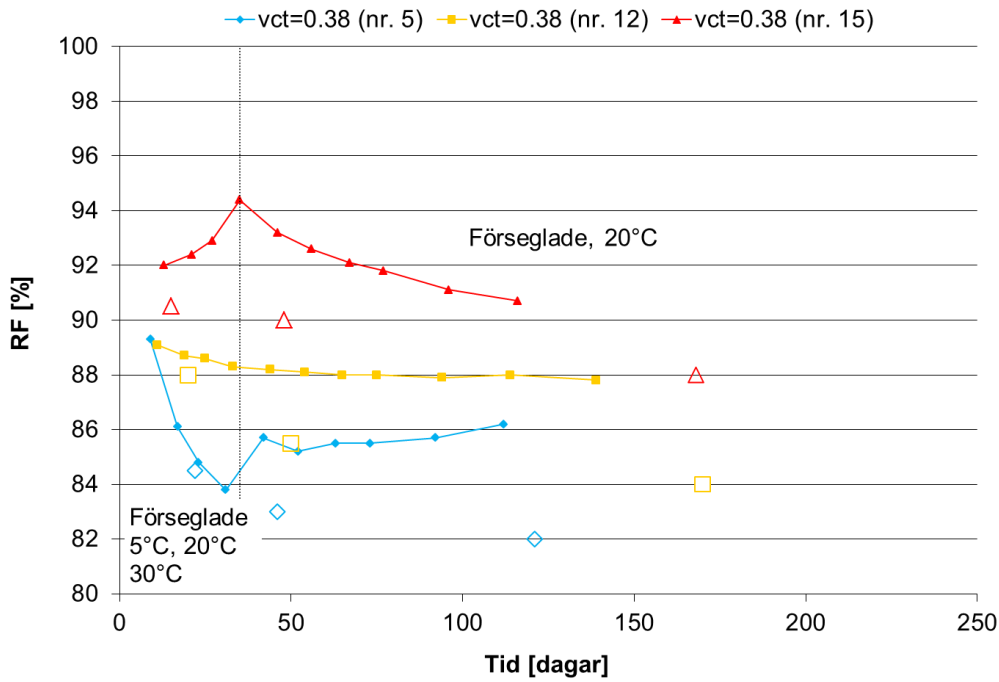


Figur 2.17 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarsittande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje). Gjuttemperatur 5°C och samtliga varianter var försedda med betongtäckmatta första dygnet.

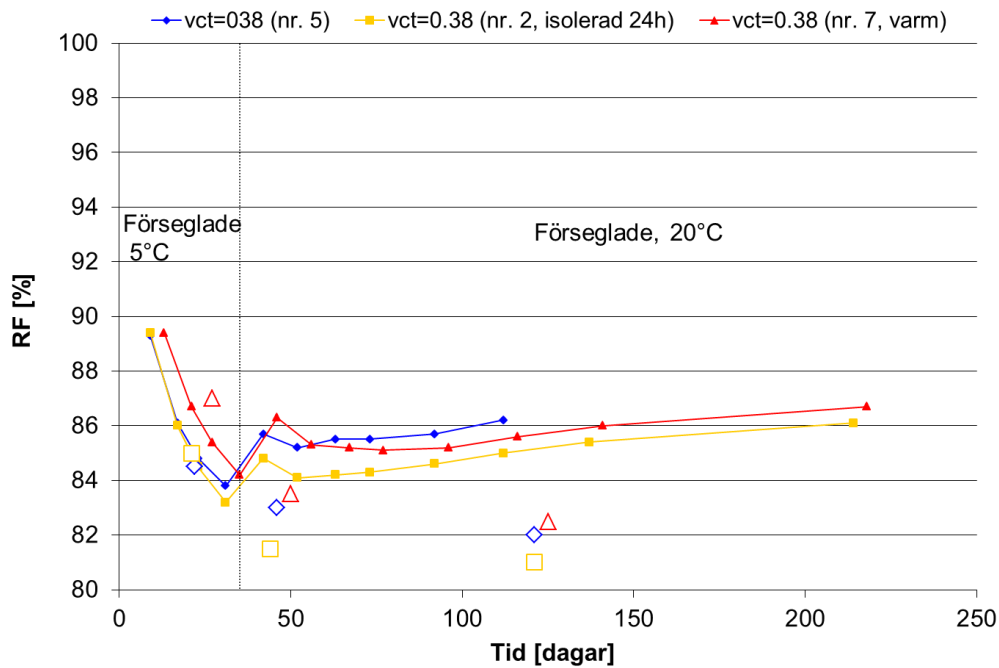


Figur 2.18 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarsittande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje). Temperatur vid gjutning var lika som under första månaden för respektive variant.

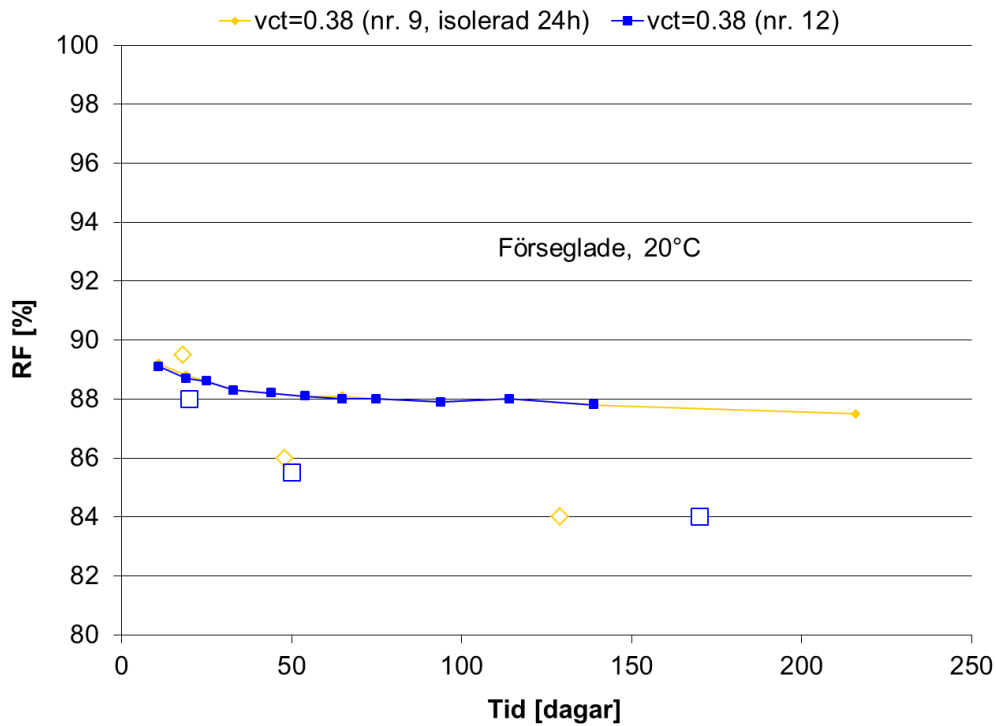
Effekten av olika härdningstemperaturer första månaden undersöktes vilket redovisas i figur 2.19, figur 2.22 och figur 2.25 där den vertikala prickade linjen visar när proven flyttades till klimatet 20°C/ 55 % RF. För vinterfallet då härdningstemperaturen var 5°C under första månaden provades dels isolering av provet första dygnet och dels varm betong (30°C) som olika sätt att nå snabbare uttorkning vilket redovisas i figur 2.20, figur 2.23 och figur 2.26. I sommarfallet (20°C) provades effekten av betongtäckmatta på förseglade prov, se figur 2.21, figur 2.24 och figur 2.27.



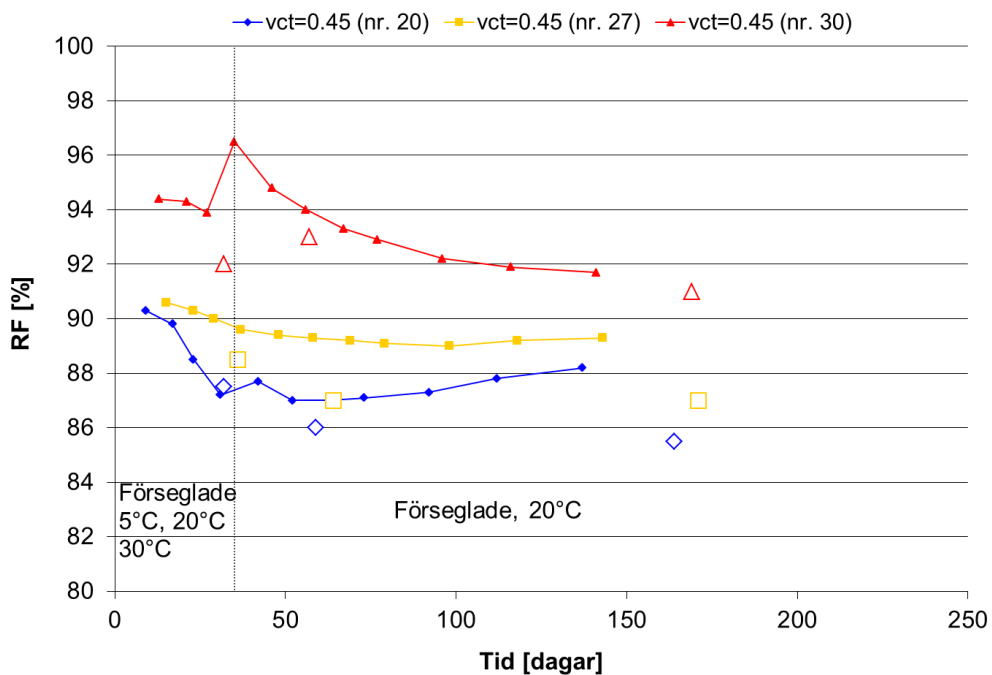
Figur 2.19 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarstannande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje). Temperatur vid gjutning var lika som under första månaden för respektive variant.



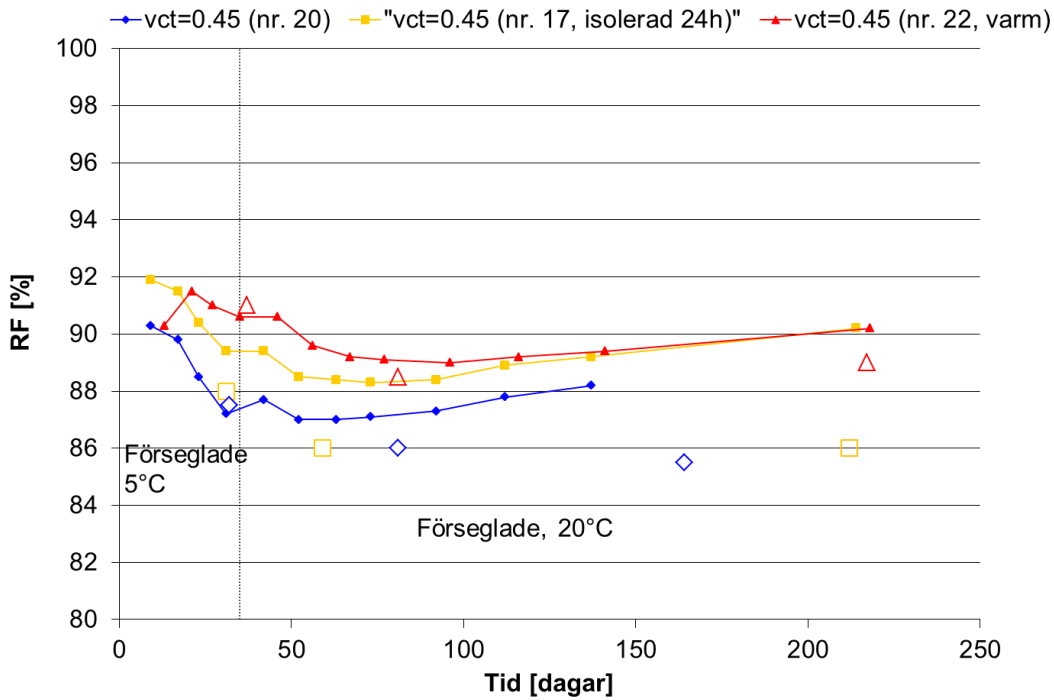
Figur 2.20 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarstannande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje). Temperatur vid gjutning var 5°C för nr. 2 och 5 samt 30°C för nr. 7.



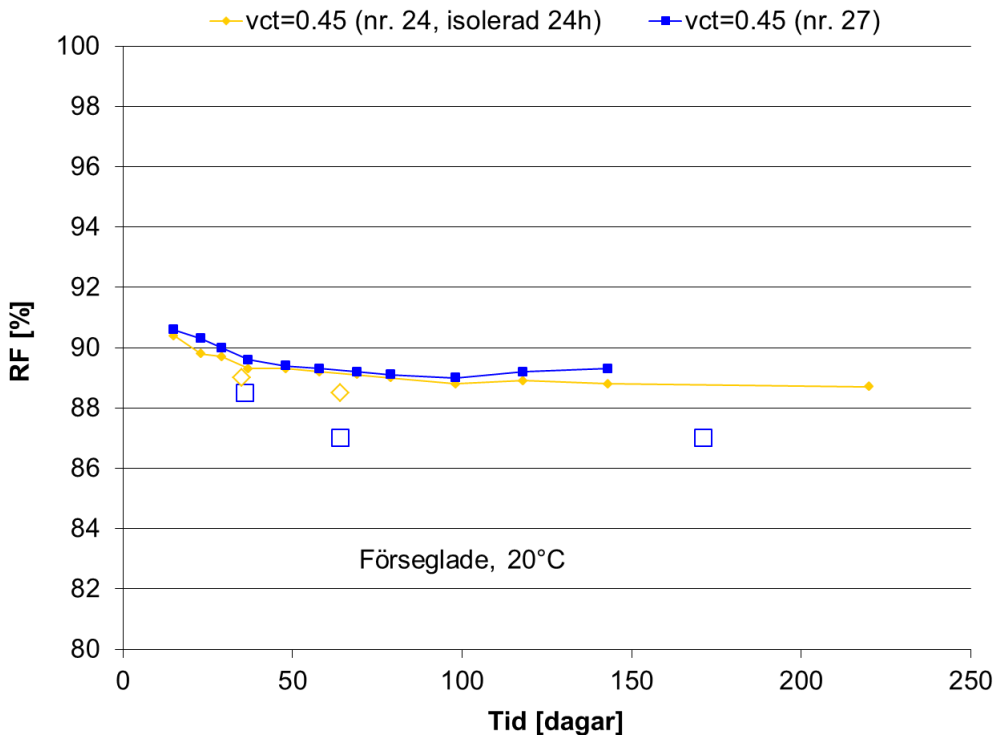
Figur 2.21 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarsittande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje).



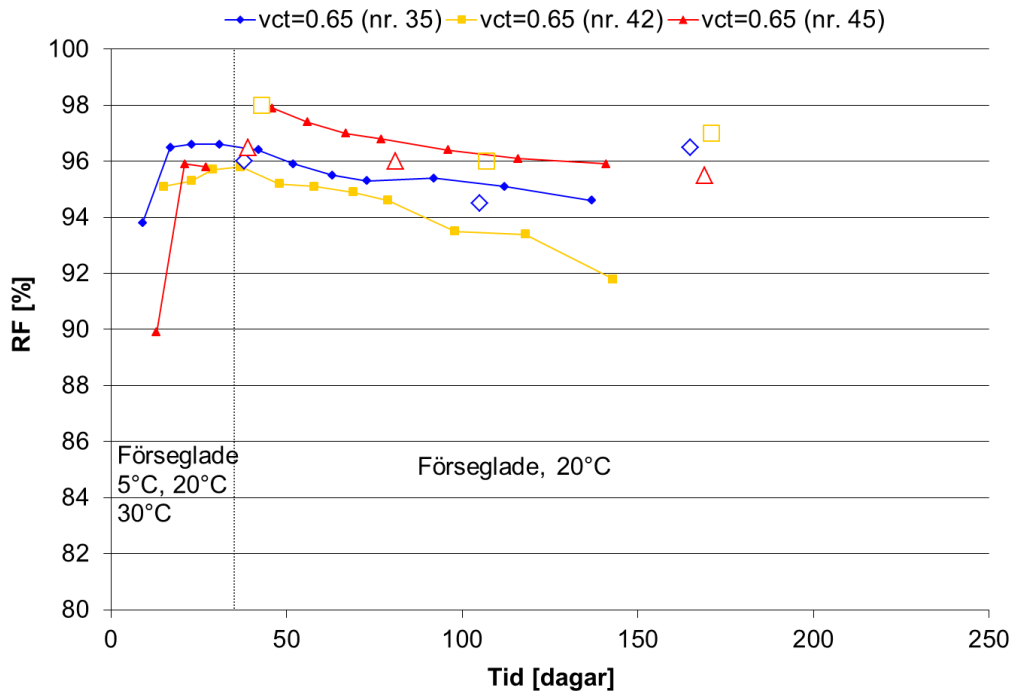
Figur 2.22 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarsittande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje). Temperatur vid gjutning var lika som under första månaden för respektive variant.



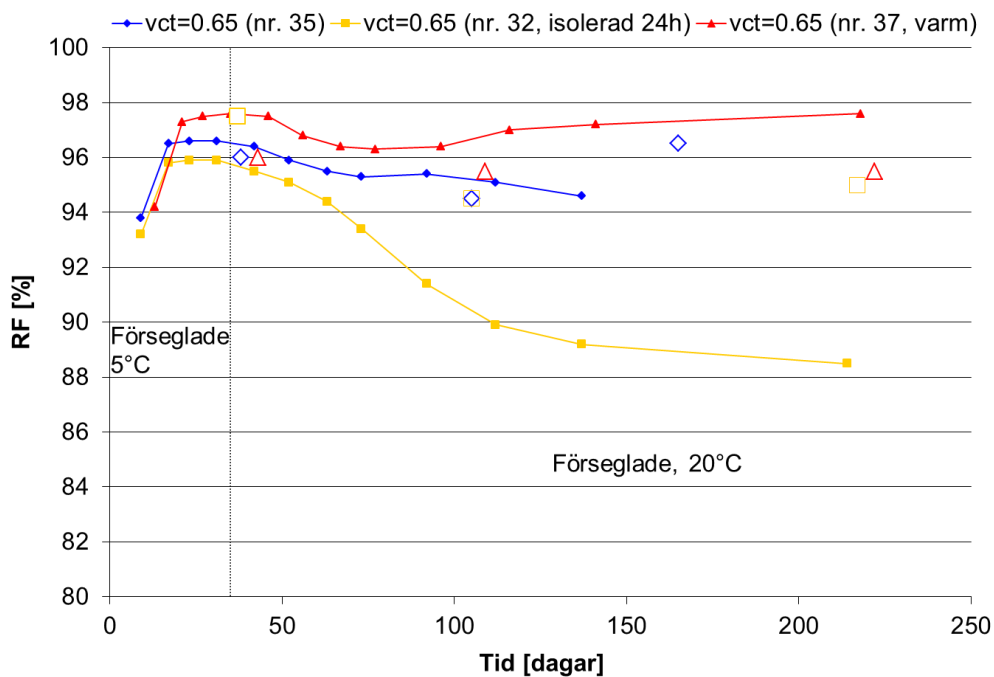
Figur 2.23 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarsittande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje). Temperatur vid gjutning var 5°C för nr. 17 och 20 samt 30°C för nr. 22.



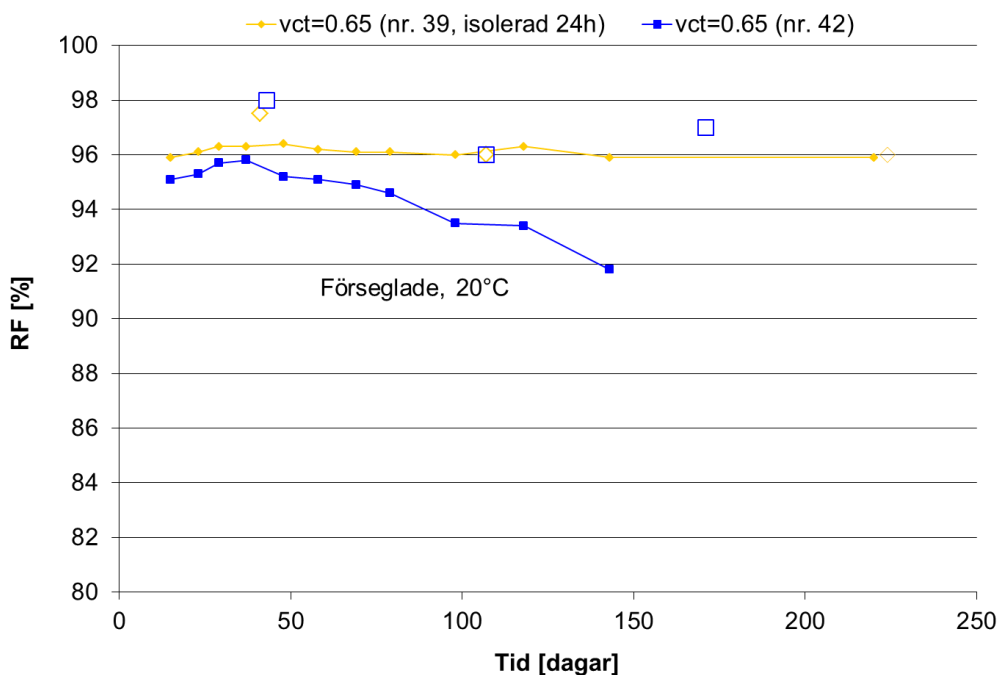
Figur 2.24 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarsittande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje).



Figur 2.25 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarsittande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje). Temperatur vid gjutning var lika som under första månaden för respektive variant.

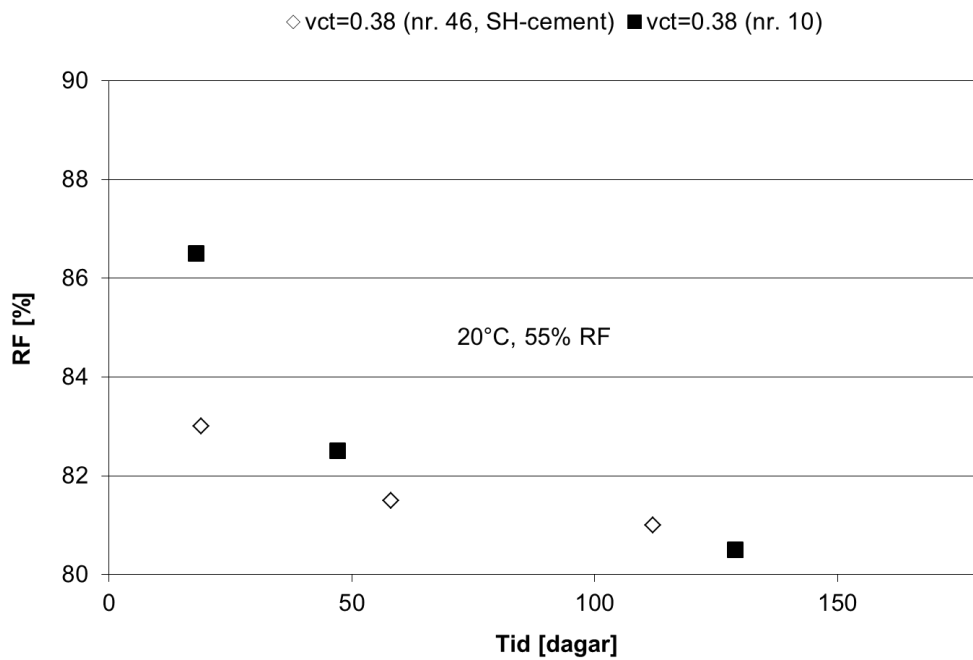


Figur 2.26 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarsittande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje). Temperatur vid gjutning var 5°C för nr. 32 och 35 samt 30°C för nr. 37.

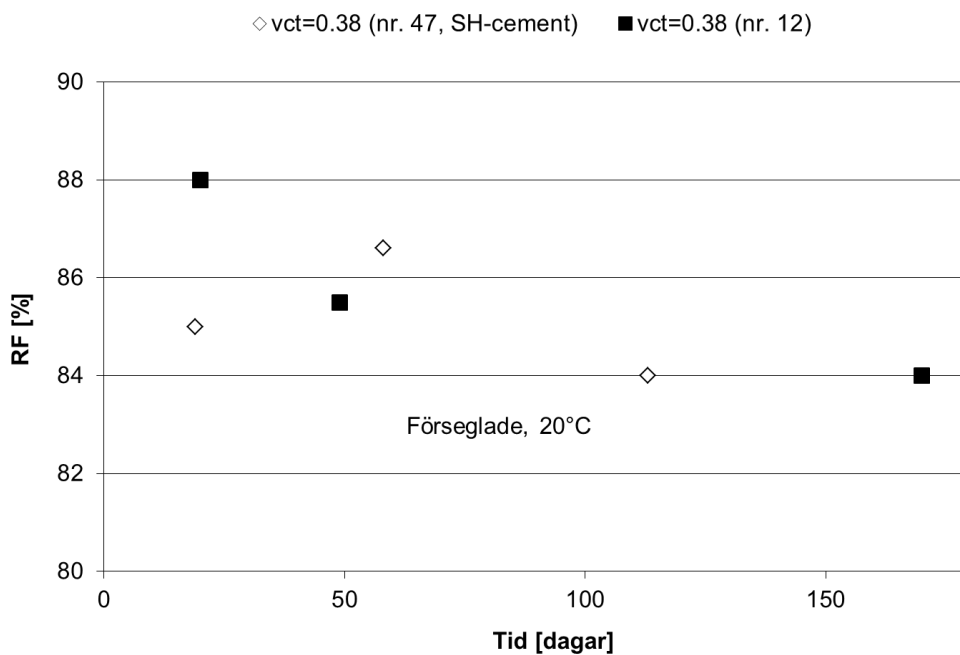


Figur 2.27 Relativ fuktighet som funktion av härdningstid, dels med uttaget prov (ofyllda punkter) och dels med kvarsittande givare (fyllda punkter med mellanliggande linje).

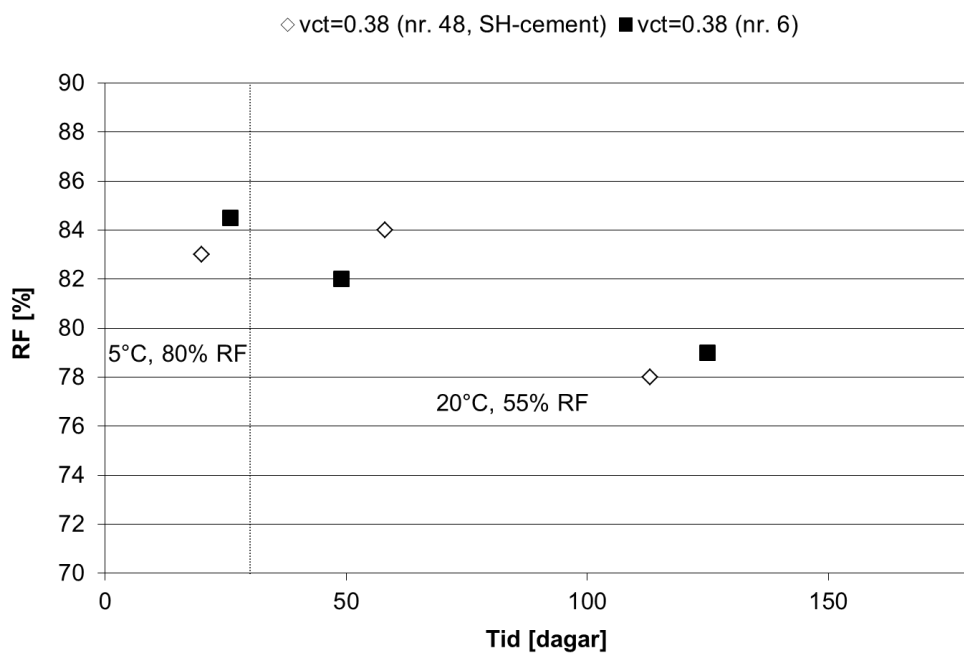
Effekten av att använda ett snabbhärdande cement undersöktes för det lägsta vattencementtalet och redovisas i Figur 2.28-2.31. Vid dessa försök med snabbhärdande cement gjordes fuktmätningarna endast enligt principen för uttaget prov. Gjut och härdningsvillkor redovisas i tabell 7.10 och resultaten från fuktmätningarna i tabell 7.11.



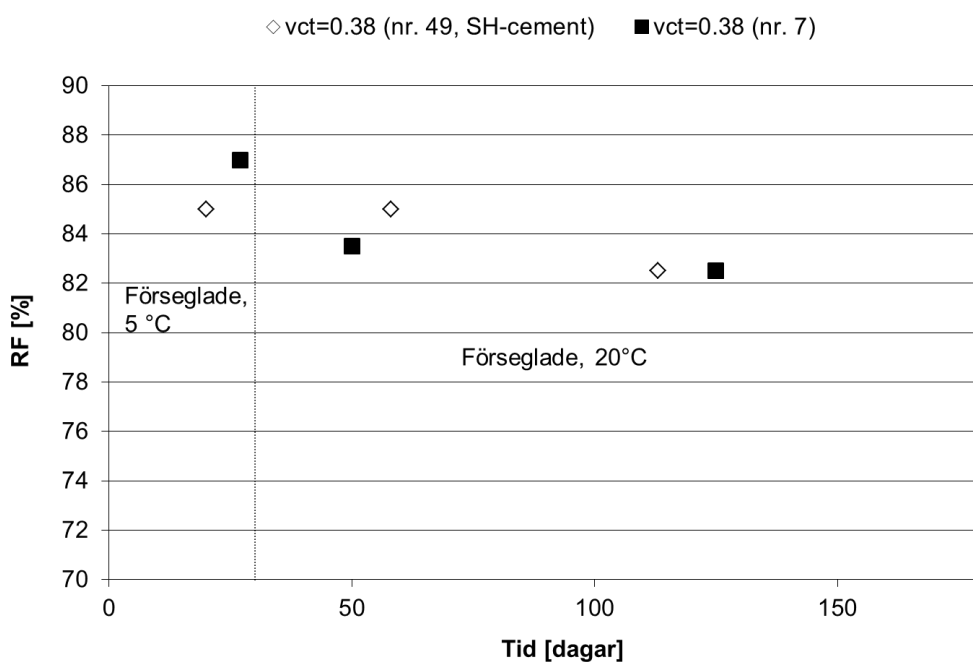
Figur 2.28 Relativ fuktighet enligt uttaget prov som funktion av härdningstid för betong med dels Byggcement och dels SH-cement som bindemedel. Gjut- och lagringstemperatur var 20°C.



Figur 2.29 Relativ fuktighet enligt uttaget prov som funktion av härdningstid för betong med dels Byggcement och dels SH-cement som bindemedel. Gjut- och lagringstemperatur var 20°C.

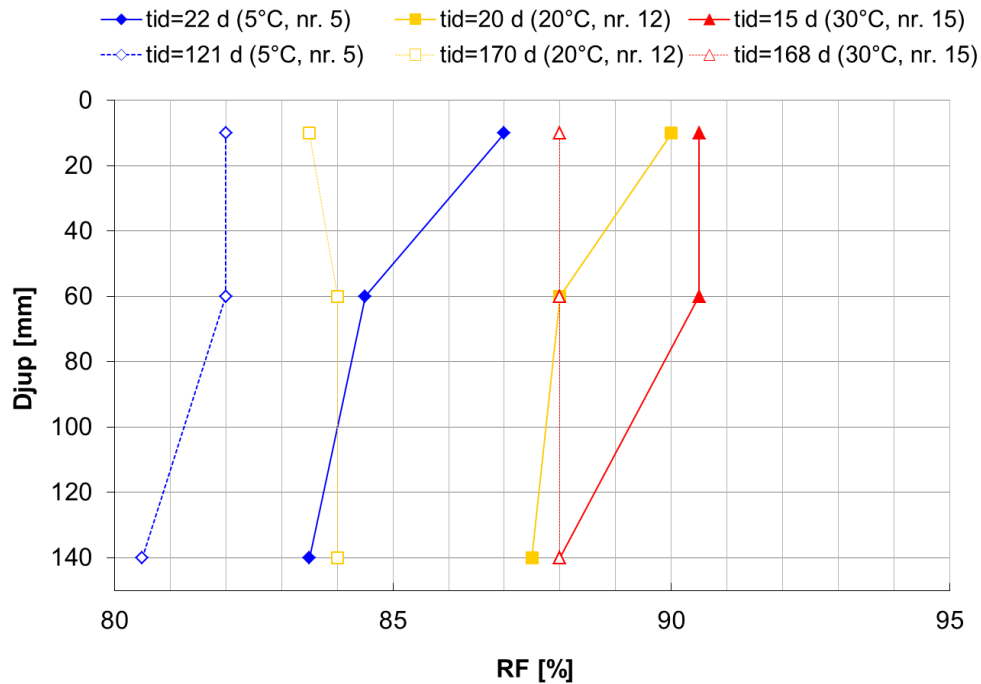


Figur 2.30 Relativ fuktighet enligt uttaget prov som funktion av härdningstid för betong med dels Byggcement och dels SH-cement som bindemedel. Gjut- och lagringstemperatur under första månaden var 5°C och därefter 20°C.

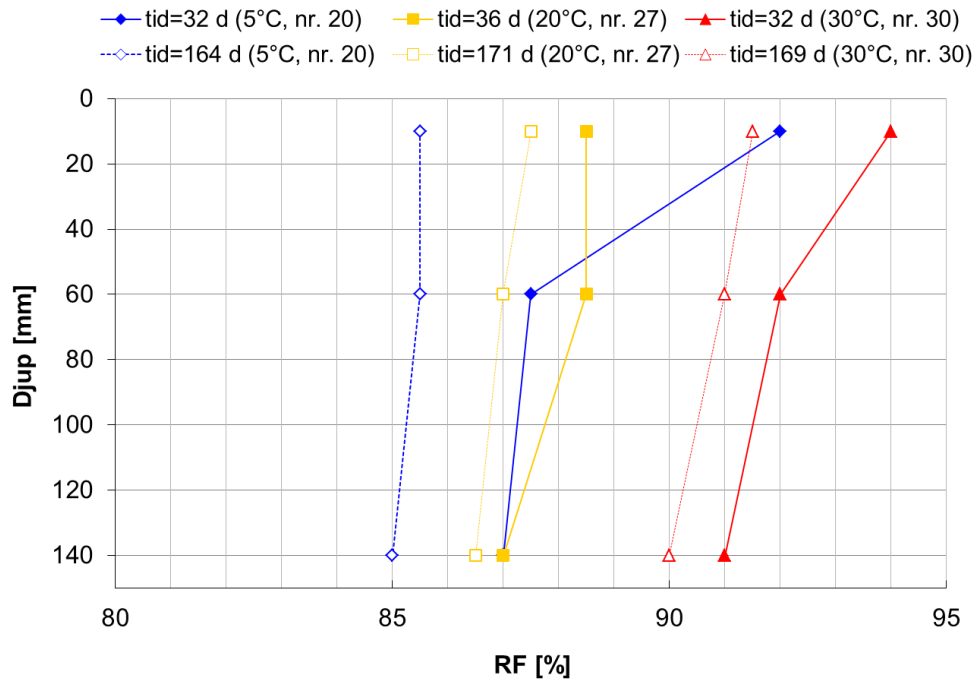


Figur 2.31 Relativ fuktighet enligt uttaget prov som funktion av härdningstid för betong med dels Byggcement och dels SH-cement som bindemedel. Gjut- och lagringstemperatur under första månaden var 5°C och därefter 20°C.

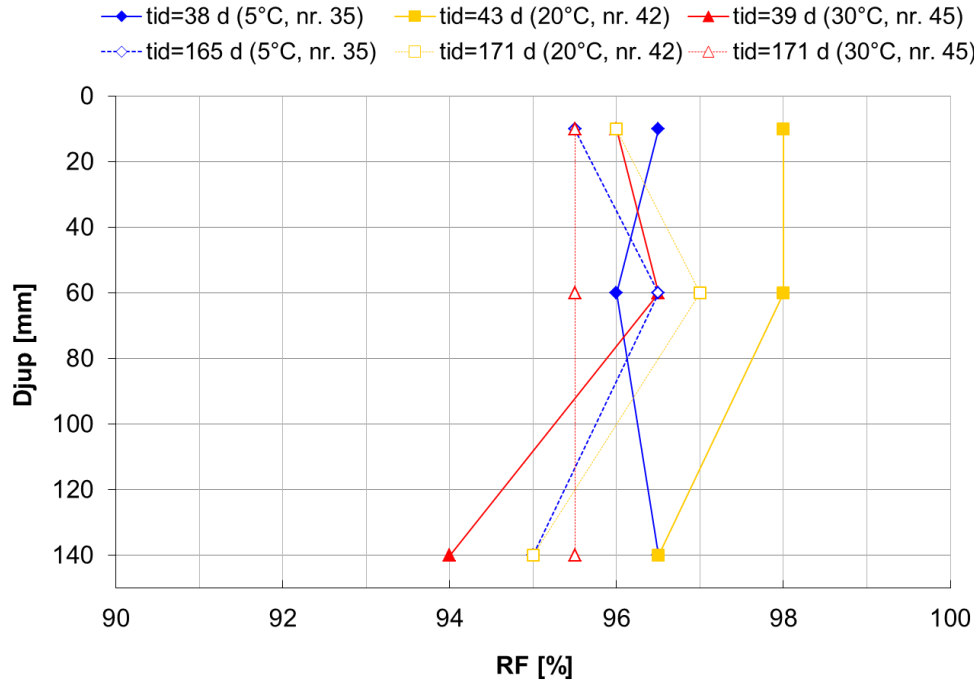
I nedanstående figurer 2.32-2.36 redovisas mätresultat från uttaget prov som fuktprofiler med resultat från samtliga tre mätdjup. Fuktprofilerna mättes vid tre olika tidpunkter under härdningsskedet och i figurerna redovisas två av dessa mätningar där tidpunkten anges i figurernas övre förklarings-text. I figur 2.32-2.34 visas fuktprofiler vid två olika tidpunkter för betonger som härdats i 5°C, 20°C och 30°C under första månaden. Vid jämförelse mellan de tre figurerna så observeras tydligt att uttorkningshastigheten hos betong med högre vct inte påverkas av temperaturförändring under första månaden. Fuktprofilerna enligt figur 2.35 mättes för betonger vilka torkat i klimatet 20°C/55 % RF medan figur 2.36 visar fuktprofiler för förseglade prov med samma betongsammansättningar och härdningstemperatur.



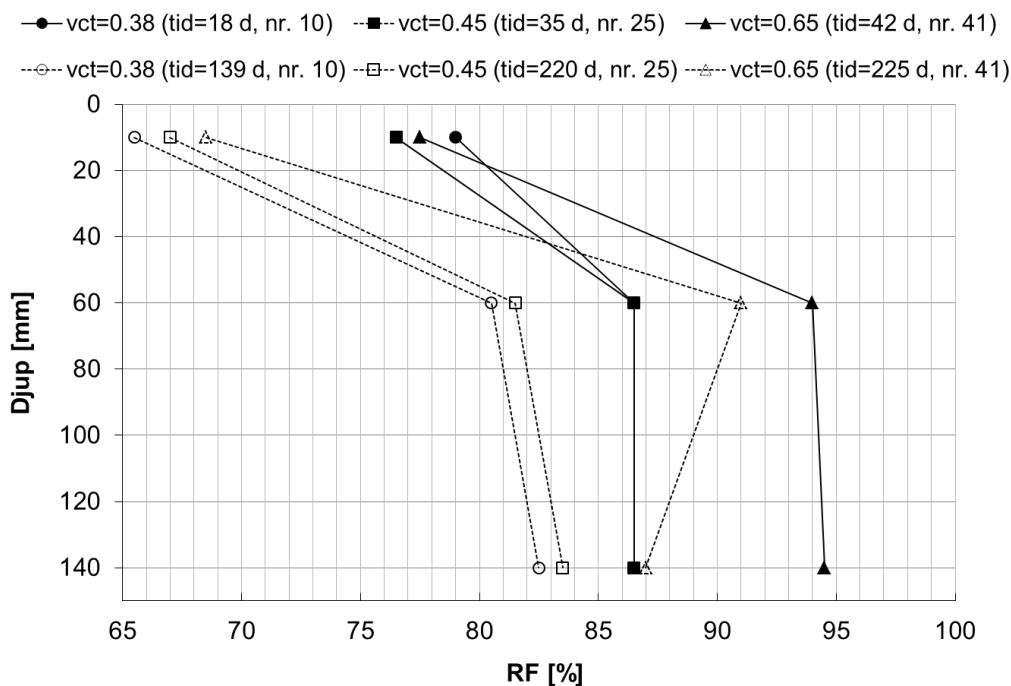
Figur 2.32 Relativ fuktighet enligt uttaget prov på tre djup i förseglad betong vct 0.38. Från och med 1 månads ålder lagrades proven i 20°C.



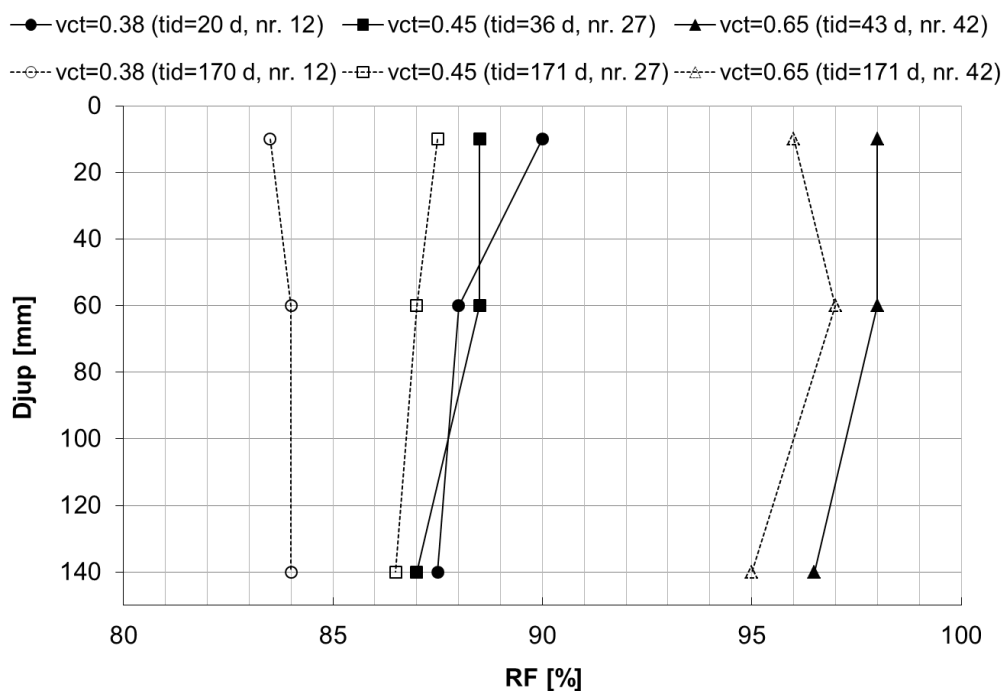
Figur 2.33 Relativ fuktighet enligt uttaget prov på tre djup i förseglad betong vct 0.45. Från och med 1 månads ålder lagrades proven i 20°C.



Figur 2.34 Relativ fuktighet enligt uttaget prov på tre djup i förseglad betong vct 0.65. Från och med 1 månads ålder lagrades proven i 20°C.



Figur 2.35 Relativ fuktighet enligt uttaget prov på tre djup i betong med varierande vct och härdningsklimat 20°C och 55 % RF.



Figur 2.36 Relativ fuktighet enligt uttaget prov på tre djup i betong med varierande vct och härdningsklimat 20°C samt försegling.

2.4 SAMMANFATTNING AV RESULTAT

2.4.1 Temperaturutveckling

Proven som isolerades med betongtäckmatta visade på cirka 2-5°C högre maxtemperatur. Ett undantag påträffades för vct 0,38 där ingen temperaturskillnad registrerades mellan isolerat och oisolerat prov. Tidpunkten då maximal temperatur inträffade var relativt oberoende av om proven var isolerade eller inte. Däremot observerades en tydlig eftersläpning där de isolerade proven behöll en högre temperatur längre. Skillnader i beteende mellan olika isolerade prov kan till viss del förklaras med otätheter mellan prov och betongtäckmatta vilka kunde uppstå eftersom den inte helt plana betongtäckmattan placerades löst på proven. Temperaturen hos varma betonger sjönk snabb och var nästan alltid lägre än temperaturen hos ej värmda betonger vid tidpunkten då dessa uppvisade sin maximala temperatur.

För prov med vattenhärdning på ytan sänktes den maximala härdningstemperaturen med cirka 5°C jämfört med motsvarande förseglat prov. Senare under härdningsförloppet då cementreaktionen avstannat antog det vattenhärdade provet en något lägre temperatur än omgivningen. Orsaken till att det vattenhärdade provet antog markant lägre maximal härdningstemperatur var sannolikt beroende av den värmeenergi som förbrukades då vattnet avdunstade.

2.4.2 Uttorkningshastighet

Jämförelse mellan mätresultaten från uttaget prov och kvarsittande givare visade i vissa fall på systematiska avvikelser på cirka 4 % RF. Avvikelserna påträffades hos prov med vct 0,45 och var speciellt tydlig hos prov med vct 0,38. För prov med vct 0,65 överensstämde resultaten mellan de två mätmetoderna. Förutom vct så verkade temperaturhistorien vara en faktor som påverkade avvikelsen mellan mätmetoderna där överensstämmelsen var dålig för prov som utsatts för klimatbyte efter 1 månads härdningstid. Effekten av klimatbyte verkade vara oberoende av om proven flyttades från ett varmt (30°C) eller ett kallt (5°C) klimat till 20°C. Skillnaden bestod även efter flera månaders vidare härdning i den nya temperaturen.

Vid jämförelser mellan uttorkningshastighet, mätt på uttaget prov, hos förseglade betonger med vct 0,38 och byggcement som bindemedel visade härdningstemperaturen spela en avgörande roll. Prov som hade gjut- och lagringstemperaturen 30°C första månaden uppvisade 4 % högre RF jämfört med prov som lagrats i 20°C under hela härdningsförloppet efter cirka 6 månaders total härdningstid. Vid jämförelse mellan prov som lagrats i 5°C respektive 30°C första månaden var skillnaden i RF cirka 6 % efter 6 månaders total härdningstid, det vill säga lagring i 20°C under månad 2-6. Uttorkningsförloppet hos prov med vct 0,45 uppvisade liknande temperaturberoende fast inte lika tydligt. För prov med vct 0,65 påträffades inget märkbart temperaturberoende hos uttorkningshastigheten.

Värmeisolering med betongtäckmatta under första dygnet påverkade inte uttorkningsförloppet i nämnvärd omfattning oavsett betongkvalitet och lagringstemperatur.

Byte av bindemedel från byggcement till snabbhärdande cement för prov med vct 0,38 påskyndade det tidiga uttorkningsförloppet. Efter cirka 2 månaders härdning nådde emellertid blandningarna med byggcement samma RF och därefter var uttorkningsförloppen relativt lika oavsett bindemedel.

Resultaten från fuktprofilmätningar på uttaget prov visade på tydligt högre fuktnivåer i toppen av proven vid mätningar tidigt under härdningsförloppet. Vid senare mätningar när prover tillåtits ytterligare lagringstid visade profilerna på utjämning där RF-nivåerna sjunkit i toppen av proven och ökat något längre ner på grund av omfördelning. Troliga orsaker till stora skillnader i RF tidigt under härdningsskedet kan dels vara att kondensation uppstod på lockets undersida orsakad av sjunkande temperatur uppåt i provet under det tidiga härdningsskedet och dels på grund av eventuell separation hos den färska betongen med högre vct i provens ytskikt som följde. Vid gjutningarna noterades inga tecken på separation.

3 UTVÄRDERING AV METODER FÖR MÄTNING AV RF

3.1 INLEDNING

Resultaten från uttorkningsförsöken enligt avsnitt 2 visade på systematiska avvikelser i mätresultat beroende av mätmetod. Provens fuktnivå mättes parallellt med kvarsittande givare och uttaget prov. För betonger med vct 0,38 eller 0,45 registrerades generellt högre RF då mätningen gjordes med kvarsittande givare. För att klara ut vilken mätmetod som gav mest rättvisande resultat genomförs en kompletterande undersökning där RF mättes enligt ett flertal olika principer, se avsnitt 3.3.

Jämförelse av uttorkningsförlopp hos betonger lagrade dels i låga och dels i höga temperaturer under första månaden visade på betydande effekter där betong med låg lagringstemperatur uppvisade uttorkning till lägre RF. Temperatureffekten var mest tydlig hos prov med låga vct. För alla provvarianter med något undantag var gjut- och lagringstemperatur lika under första månaden. Det var därför omöjligt att dra slutsatser om det var tillräckligt med en låg temperatur hos den färska betongen i samband med gjutning eller om det krävdes långvarig lagring, upp till en månad, för att påverka uttorkningsförloppet. För att klara ut frågeställningen om en avvikande gjuttemperaturen var avgörande för uttorkningen göts en provserie med ett flertal varianter med skilda gjut- och lagringstemperaturer, se avsnitt 4.

3.2 MATERIAL

Inför försöken göts prov i plåtburkar (5 liter) vilka förseglades med lock av plåt direkt efter gjutning. Formarna var lika de som beskrivits i samband med uttorkningsförsöken, se avsnitt 2.2.1. Samtliga prov göts med vct 0,38 och som bindemedel användes Byggcement, Cementa AB Sverige, med ett varierande innehåll av obränd och mald kalksten mellan 13-15 viktsprocent enligt tillverkaren. Receptet för betongen med vct 0,38 var lika det som användes vid uttorkningsförsöken, se tabell 2.1, där kravet på bearbetbarhet var 150 mm. Prov med en viss gjut- och lagringstemperatur göts med betong från en och samma blandning och lagrades i samma klimatrum för att minimera avvikelser då det huvudsakliga syftet var att jämföra resultatet från olika metoder för RF-mätning.

3.3 METOD

3.3.1 Viktsförlust vid uttaget prov och dess effekt

I samband med uttagning av prov avgår alltid en viss mängd fukt från materialet om det exponeras för en omgivning med lägre RF. Mängden fukt som avgår beror på flera faktorer och däribland hur väl krossat provet är. En högre grad av krossning innebär att en större yta per viktenhet exponeras med ökad risk för att förlora fukt. Skillnad i RF, eller egentligen ånghalt, mellan prov och omgivning påverkar fuktavgången där en större skillnad resulterar i större mängd förlorad fukt. Sammantaget är mängden förlorad fukt vid uttagning av prov beroende av ett flertal faktorer som är svåra att kontrollera och därför är tiden för provtagning då de uttagna provbitarna exponeras för omgivande klimat avgörande.

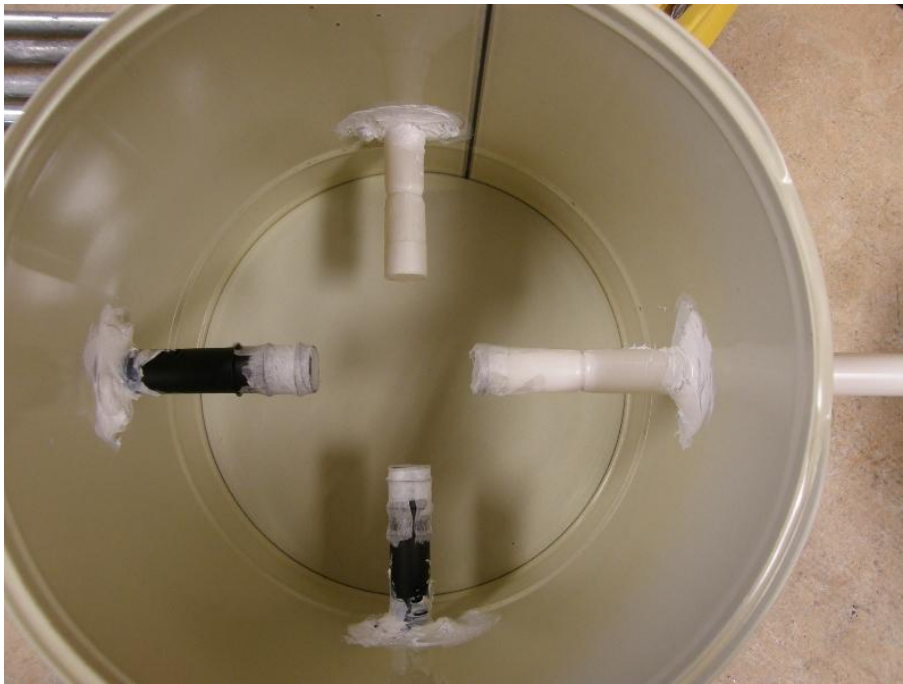
För att klarlägga hur tiden för provtagning påverkade mätresultaten genomfördes försök där uttagna prov placerades på våg vilken loggades för att registrera viktsförlusten som funktion av tiden. Provens valdes så att storleken var lika de som normalt placeras i glasrör för RF-mätning med största mått cirka 15mm. Den totala provmängden var cirka 56 gram och togs ut

från betong med vct 0,38 vilken tillåtits torka till cirka 85 % RF. Provtagningen gjordes i klimatkammare där temperaturen var 20°C och RF 55 %.

3.3.2 Jämförelse mellan Vaisala- och HumiGuard-givare monterad i prov samt på uttaget prov.

Inför försöken tillverkades prov, se avsnitt 3.2, vilka förseglades direkt efter gjutning och förblev förseglade fram till provtagning för uttaget prov. Proven märkta 1-6 göts från samma blandning och lagrades i samma klimatrum, med temperaturen $20 \pm 1^\circ\text{C}$ och RF $55 \pm 1\%$, under hela försöksförloppet. Proven hanterades och lagrades likvärdigt eftersom det huvudsakliga syftet med försöket var att jämföra och analysera resultat från olika mätmetoder. Före gjutning försågs formarna med plaströr för montering av RF-givare. I varje prov placerades två av mätrören på djupet 60 mm, vilket motsvarar 40 % av provets totala höjd (150 mm), och de resterande två på djupet 95 mm.

Prov 1-3 försågs med två mätpunkter för montering av HumiGuard-givare och ytterligare två för montering av Vaisala-givare enligt figur 3.1. Ett av rören för montering av HumiGuard försågs med o-ring vilken medförde att kontaktarean mellan betong och givare minskade. Vid montering av plaströr i borrhål används o-ringen som tätning mellan betong och plaströr. Före gjutning försågs alla mätrör med kirurgisk tejp som hinder för den färska betongen att rinna in i plaströren, se figur 3.3.



Figur 3.1 Form för prov där mätning av relativ fuktighet genomförs med flera metoder, prov 1-3 enligt tabell 7.13. HumiGuard givare monterades i vita plaströr medan Vaisala monterades i svarta där öppningen på samtliga rör var försedd med kirurgisk tejp, se figur 3.3.

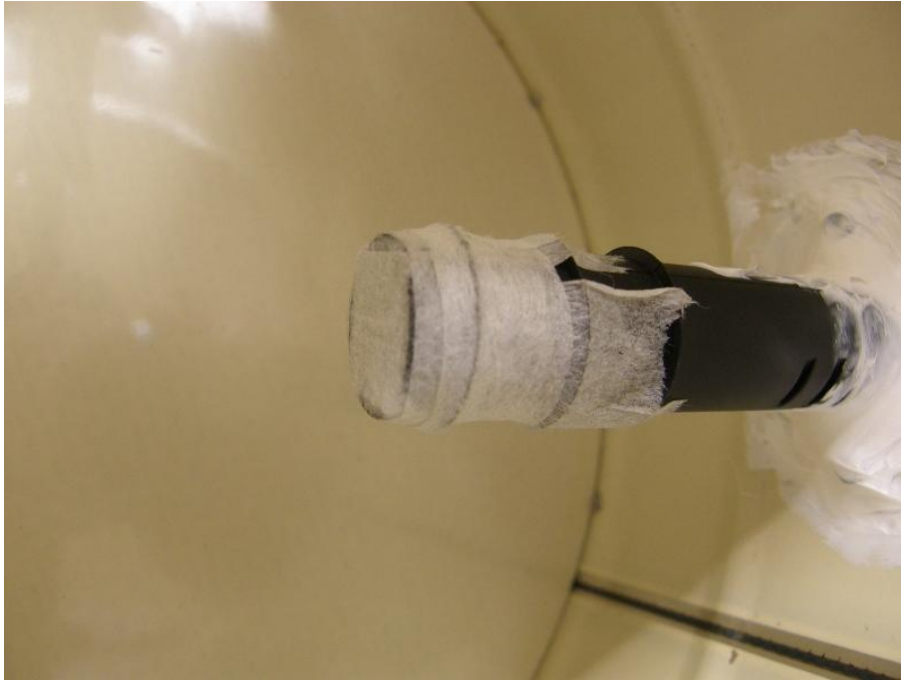
Prov 4-6 försågs med tre mätpunkter för montering av Vaisala-givare och en för montering av HumiGuard-givare, se figur 3.2. Med syfte att öka kontaktarean mellan givare och betong så försågs två av rören, ett för HumiGuard-givare och ett för Vaisala-givare, med en metallskruv som tätning mot den färska betongen, se figur 3.4. För fixering av skruven monterades en

mutter mot plaströrets öppning. Den yttre delen av skruven hade diametern 8 mm och längden cirka 30 mm. På denna del av skruven var gängorna avlägsnade för att underlätta demontering efter gjutning. Resterande två plaströr försågs med kirurgisk tejp som hinder mot den färska betongen.

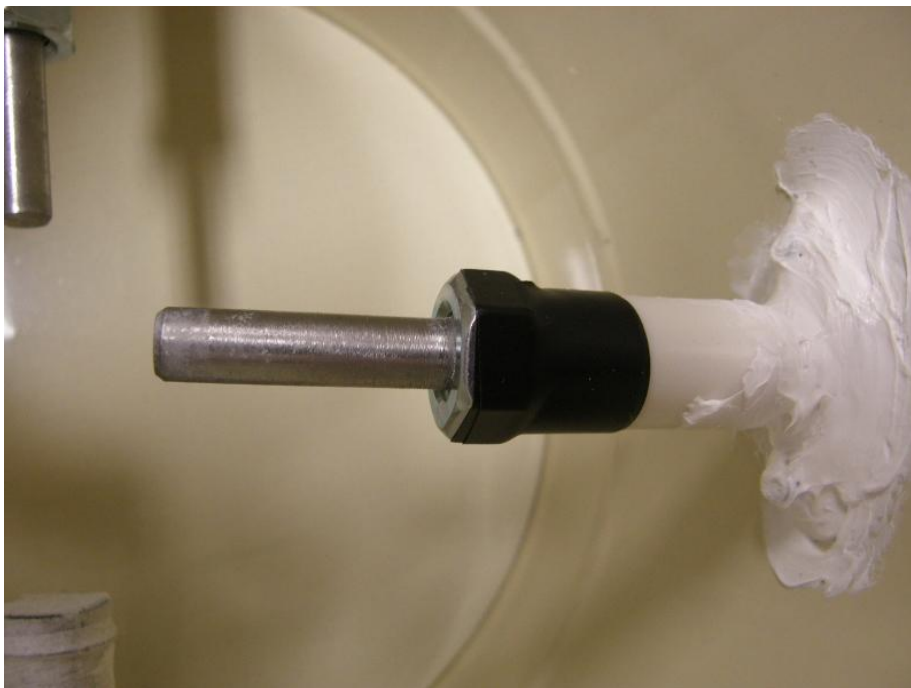
Efter att slutavläsning gjord för givare monterade i prov så togs prov ut från tre djup för RF-mätning. Proven delades enligt spräckprincipen, se avsnitt 2.2.2, och prov togs ut från djupen 0-20, 50-70 och 130-150 mm. Mätningen på de uttagna proven gjordes både med Vaisala-givare och också med HumiGuard-givare. Vid mätningen på de uttagna proven följdes samma rutiner som vid mätningarna enligt avsnitt 2.2.2.



Figur 3.2 Form för prov där mätning av relativ fuktighet genomförs med flera metoder, prov 4-6 enligt tabell 7.13. HumiGuard-givare monterades i vitt plaströr medan Vaisala monterades i svarta. Två av de svarta rören var försedda med kirurgisk tejp medan resterande två med skruv, se figur 3.4, vilken demonterades under härdningen.



Figur 3.3 Mätrör för montering av Vaisala RF-givare försedd med kirurgisk tejp som hinder mot den färska betongen.



Figur 3.4 Mätrör för montering av HumiGuard RF-givare försedd med skruv som hinder mot den färska betongen.

3.3.3 Jämförelse mellan olika mätmetoder med Vaisala-givare

En utökad undersökning genomfördes för att tydligt klarlägga hur olika sätt att montera RF-givaren påverkade mätresultatet. För detta valdes givare av fabrikat Vaisala eftersom tidigare

försök, se avsnitt 3.3.2, visade på god överensstämmelse mellan uttaget prov och mätning i provkropp för denna givare. Dock genomfördes de tidigare mätningarna endast i borrhål och i ingjutet rör (med skruv). För att klara ut om Vaisala-givaren var okänslig även för andra monteringsprinciper så göts 16 st. nya förseglade prov med vct 0,38 enligt avsnitt 3.2. Proven märktes 52-59 och av var variant fanns två identiska prov A och B. De identiska proven A och B göts med betong från samma blandning och lagrades på samma sätt. Gjut- och lagringstemperaturerna var olika för de olika varianterna vilket visas i tabell 7.15-7.16 och innebär att resultatet från fuktmätningarna endast kan jämföras inbördes för de olika varianterna. Syftet med att variera gjut- och lagringstemperaturerna var att resultaten även skulle kunna användas för den fördjupade studien i avsnitt 4 om hur temperaturförhållanden tidigt under härdningsskedet kan påverka uttorkningsförmågan.

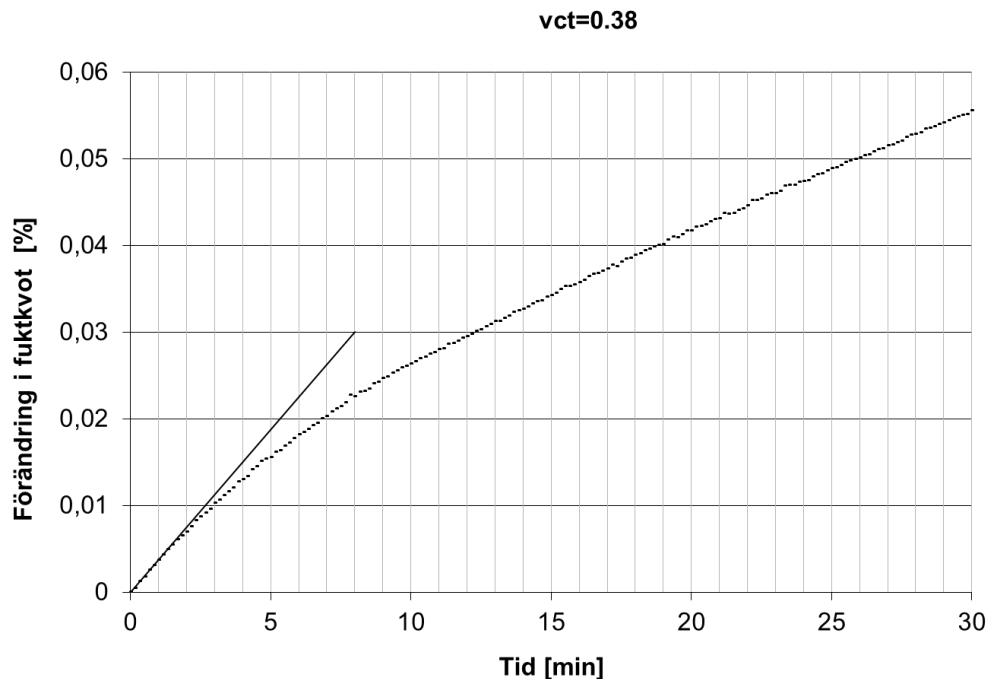
I varje prov monterades plaströr på djupet 60 mm före gjutning för senare montering av Vaisala-givare, se avsnitt 3.3.2. Plaströrens utförande, det vill säga hur de avgränsades mot betongen, varierade och finns angivet för var provvariant i tabell 7.15. Mätroren utfördes enligt följande tre principer; tejp, skruv eller borrhål. Tejp innebär att rörets öppna del mot betongen försågs med kirurgisk tejp före gjutning för att förhindra den färska betongen att rinna in i röret, se figur 3.3. Tejpen förblev kvar under fuktmätningförloppet. Istället för tejp användes skruv, se figur 3.4, vilken skruvades ut under betongens härdningsförlopp och tillät en större kontaktarea mellan givare och betong. Slutligen monterades också givare i mätör som borrhåts upp. Vid gjutning var också dessa rör försedda med tejp för att hindra den färska betongen men några dagar (minst 2 dygn) före montering av RF-givaren borrades mätörlet cirka 20 mm djupare med borr av samma diameter som mätörlets innerdiameter.

Ytterligare ett syfte med denna undersökning var att klarlägga om det uppträder systematiska avvikelser mellan uttaget prov enligt spräckprincipen, se avsnitt 2.2.2, eller enligt RBKs rutin. Därför togs prov ut parallellt enligt dessa två metoder för att kunna jämföra resultaten, se tabell 7.16.

3.4 RESULTAT

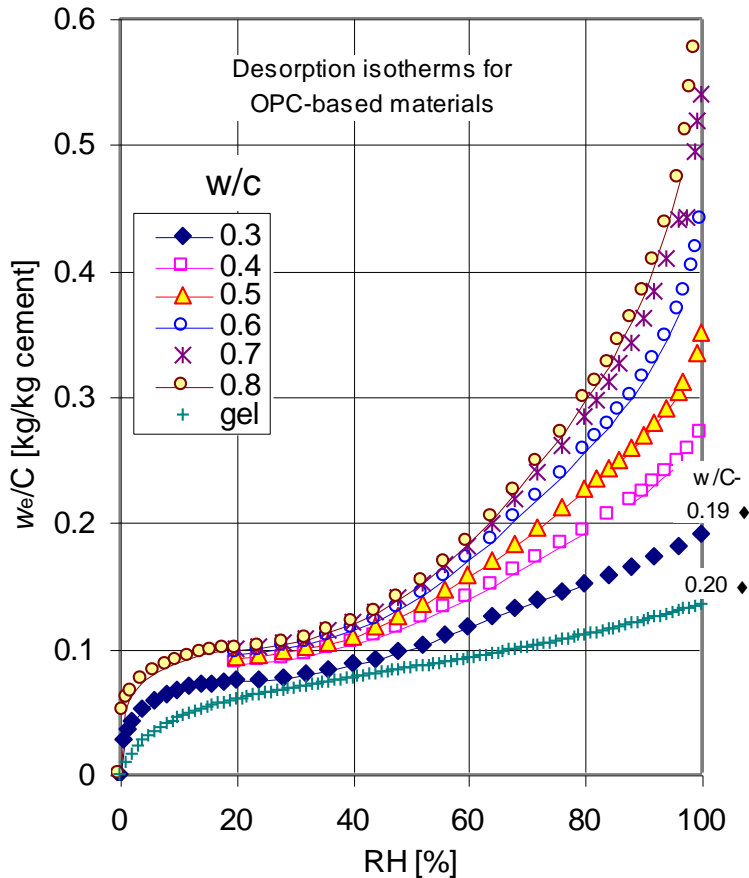
3.4.1 Viktsförlust för uttaget prov och dess effekt

Viktsförlusten hos uttaget prov med representativ storlek redovisas i figur 3.5 som funktion av tiden för exponering i rumsklimat. Resultatet visade att viktsförlusten per tidsenhet avtar med ökad exponeringstid vilket var förväntat när RF i provets yta sjunker och närmar sig omgivningens RF. Eftersom provtagningen för uttaget prov endast tog någon minut så är det viktminskningstakten under de första minuterna som är relevant att beakta. Viktminskningen per tidsenhet under första minuterna har uppskattats och visas med heldragen linje i figur 3.5 tillsammans med uppmätta data vilka visas som prickad kurva. Enligt den heldragna linjen är förändringen i fuktkvot cirka $3,75 \cdot 10^{-3}$ % per minut.



Figur 3.5 Förändring av fuktkvot hos uttaget prov av representativ storlek (cirka 55 gram torrsvikt) som funktion av hanteringstid vid provtagningsförfarande. Punkter visar resultat från försök och heldragen linje är anpassad till förändringen i fuktkvot under de första minuterna.

För att kunna bedöma hur stor inverkan en viss förändring av fuktkvot har på provets RF krävs kunskap om materialets desorptionsisoterm. I Nilsson (1980) finns desorptionsisotemer redovisade för väl härdade betonger med varierande vct. Provad betongen enligt nuvarande studie härdades förseglad i 20 °C under cirka två månader vilket, med hänsyn till det låga vattencementtalet, innebär att största andelen av möjlig hydratation uppnåddes. Det är därför en rimlig approximation att använda desorptionsisotemer enligt figur 3.6 för beräkning av förändring i RF orsakat av förändring i fuktkvot. Vid betraktande av desorptionsisotermen för vct 0,4 i RF-området 80-85 %, vilket var aktuellt vid uttagning av prov, kan lutningen uppskattas till cirka 0,005 kg/(kg*%) (kg förångningsbart vatten per kg cement/ procentuell förändring i RF). Med hänsyn till cementmängden 450 kg/m³, enligt tabell 2.1, kan mängden förångningsbart vatten per volymenhet och procentuell förändring i RF beräknas till 2,25 kg/(m³*%). Med hjälp av betongens torra densitet vilken uppskattades till 2200 kg/m³ beräknades förändringen i fuktkvot till 0,1 % per procentuell förändring i RF.



Figur 3.6 Desorptionsisotermer för väl härdad betong med olika v/c. Data från Nilsson (1980).

Sammanfattningsvis innebär jämförelsen mellan betongens fuktfixeringsförmåga och förändringen i fuktkvot vid hantering av uttaget prov att hanteringstiden måste överstiga 3 minuter för att en sänkning av RF ska uppgå till cirka 0,1 %. Tidsåtgång för hantering av uttaget prov inom projektet var kortare och uppgick vanligen till någon minut.

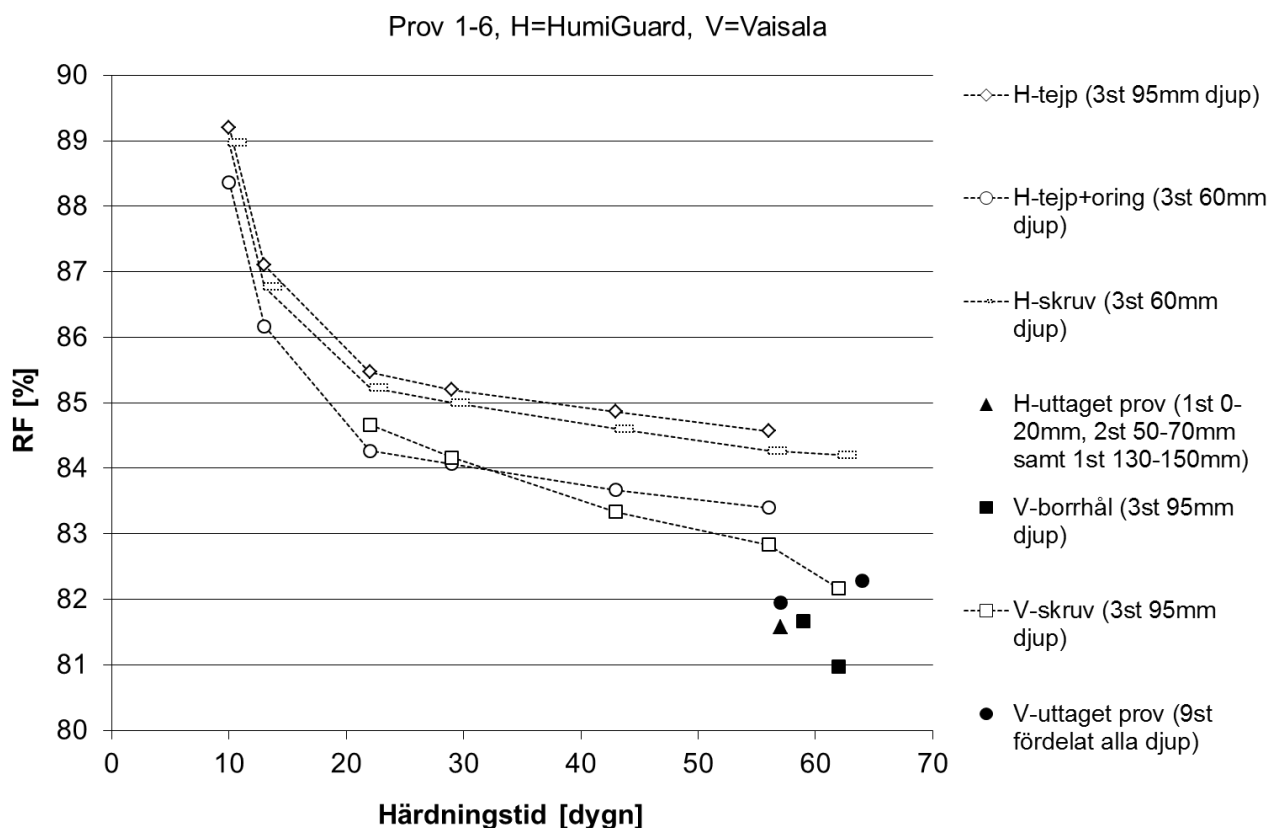
3.4.2 Jämförelse mellan Vaisala- och HumiGuard-givare monterad i prov samt på uttaget prov.

En sammaställning av resultaten från mätning med givare monterad i prov redovisas i tabell 7.13. Alternativet med Vaisala-givare monterade i rör, försedda med kirurgisk tejp, togs bort eftersom resultaten ansågs otillförlitliga på grund av brister vid montering. Istället användes några av dessa mätpunkter för borrhålmätning där djupet i mätrören borrades cirka 20 mm djupare med borrar av samma diameter som insida mätrör. Vid borrhålmätningen följdes tidsintervall enligt RBK.

Resultat från mätning på uttaget prov redovisas i tabell 7.14 och är direkt jämförbara med de som gjordes med givare monterad i prov. Detta för att de uttagna proven togs ut direkt efter slutavläsning av givare monterade i prov.

Resultaten från alla RF-mätningar på prov 1-6 redovisas som funktion av härdningstid i figur 3.7. Värdena redovisas som medelvärde för respektive grupp med hänsyn till mätmetod där

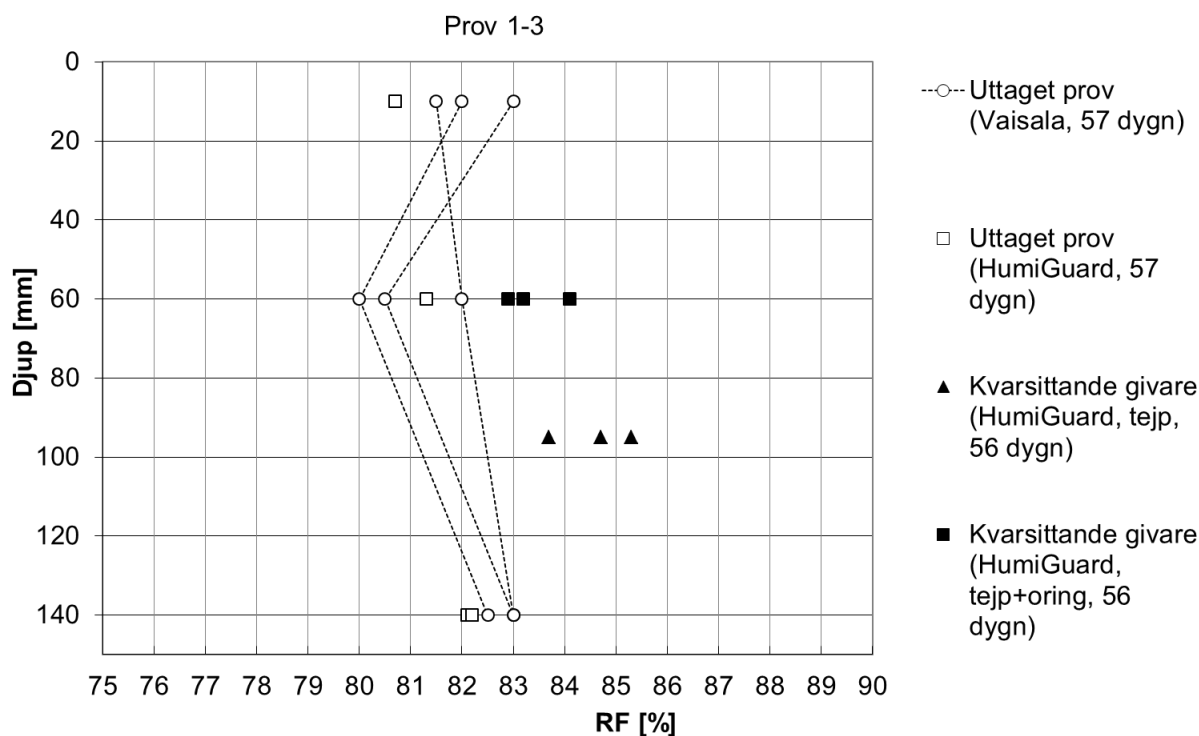
antalet prov anges i figurens förklaringsfält. Kvarsittande givare monterade i provet visas som ofyllda punkter sammanbundna med streckad linje. Fyllda punkter visar resultat från uttaget prov eller borrhålmätning där givaren monterades inför avläsning. De kvarsittande HumiGuard-givarna visade samma uttorkningshastighet oberoende av monteringsprincip och vid jämförelse med Vaisala så visade den senare på en snabbare uttorkningshastighet. RF-nivån vid slutavläsning av den kvarsittande Vaisala-givaren överensstämde väl med de uttagna proven och borrhålmätningen inom spridningen $\pm 0,75$ % RF. Slutavläsningen av de kvarsittande HumiGuard-givarna visade generellt på högre RF-nivåer och med dessa inkluderade ökade spridningen till ± 2 % RF.



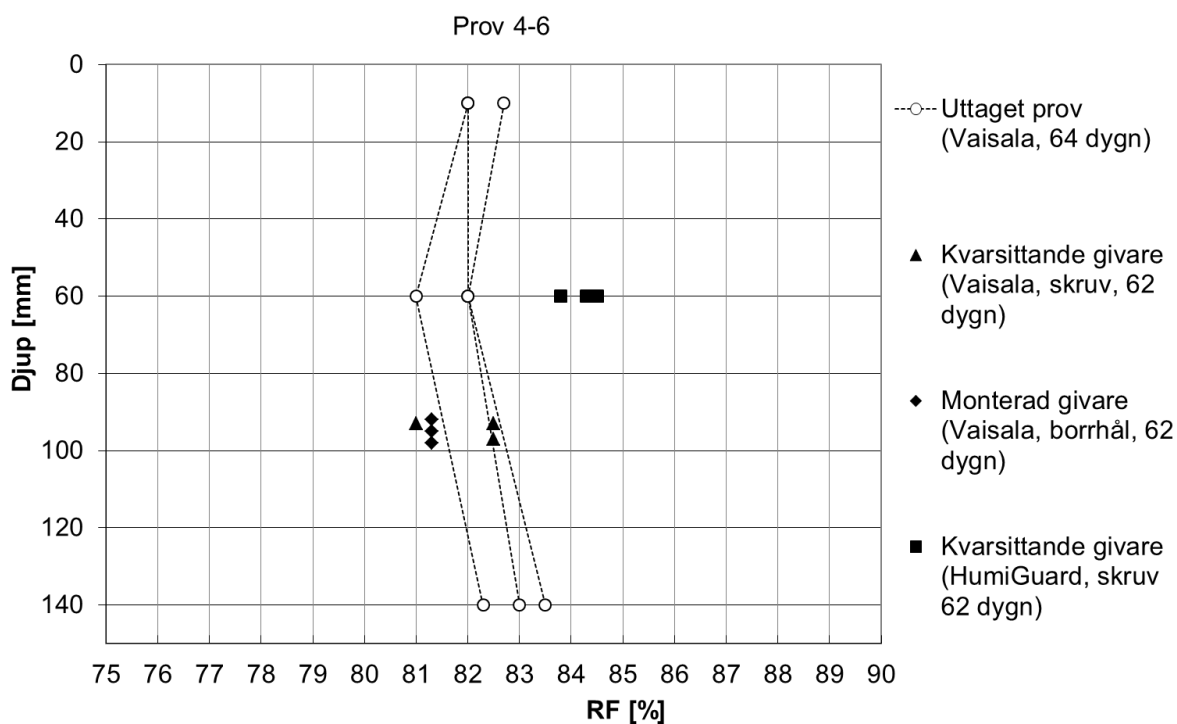
Figur 3.7 Relativ fuktighet (medelvärde) som funktion av härdningstid för förseglade prov med vct 0,38. Mätning med givare av två olika fabrikat monterade enligt dels lika och dels olika principer där ofyllda punkter visar resultat från kvarsittande givare medan fyllda punkter visar resultat från givare monterad inför mätning.

I figurerna 3.8 och 3.9 nedan visas enskilda mätvärde som RF-profiler för proven 1-3 respektive 4-6 och provens ålder visas i figureernas förklaringsfält. Ofyllda punkter visar resultat från uttaget prov där cirklar representerar mätning med Vaisala-givare och kvadrater mätning med HumiGuard-givare. Inga systematiska avvikelser kunde noteras mellan mätningarna på uttagna prov oberoende av fabrikat på givare.

De kvarsittande HumiGuard-givarna visade på systematiskt högre RF-nivåer oberoende av monteringsprincip. När Vaisala-givare monterades kvarsittande i prov eller i borrhål visade resultaten på god överensstämmelse med de från uttagna prov, se figur 3.9.



Figur 3.8 Relativ fuktighet mätt på olika djup med uttaget prov, ofyllda punkter, och med kvarsittande givare, fyllda punkter. Förseglade prov av vct 0,38.



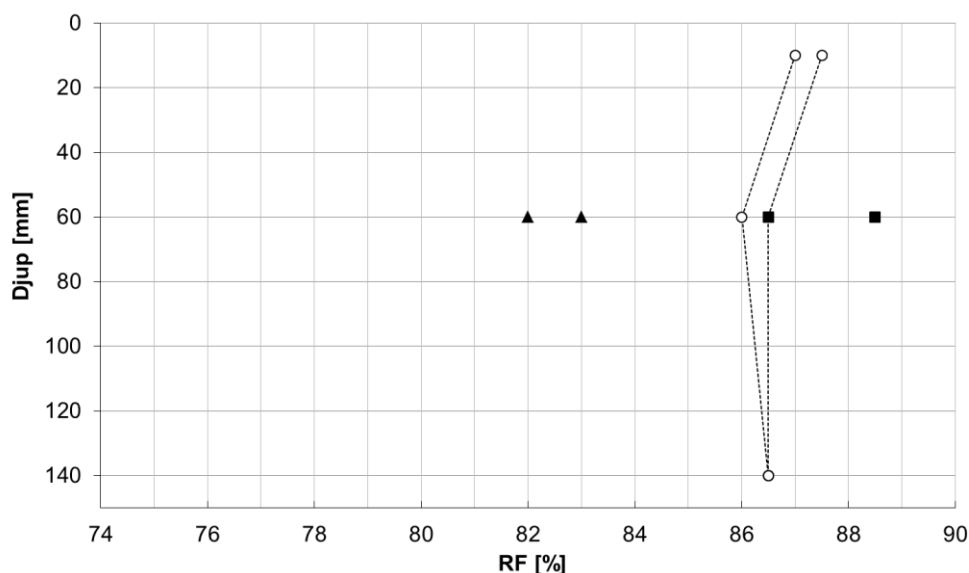
Figur 3.9 Relativ fuktighet mätt på olika djup med uttaget prov, ofyllda punkter, och med kvarsittande givare alternativt monterad inför mätning, fyllda punkter. Förseglade prov av vct 0,38.

3.4.3 Jämförelse mellan olika mätmetoder med Vaisala-givare

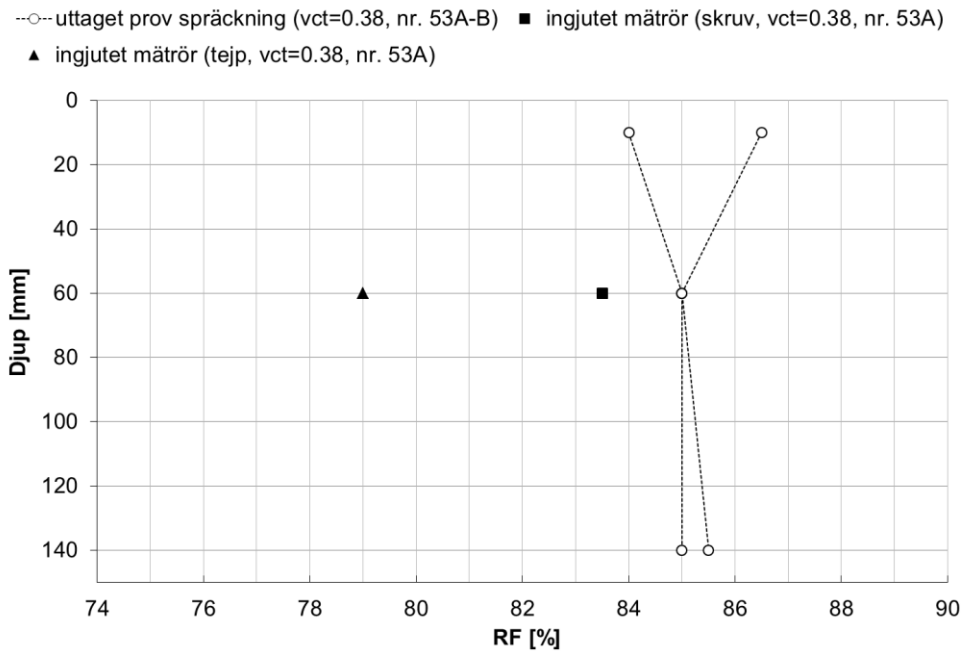
En sammaställning av mätresultat från både uttaget prov och givare monterad i prov finns i tabell 7.15 och 7.16. I figurerna 3.10-3.15 redovisas mätresultaten som RF-profiler där ofyllda punkter sammanbundna med streckad linje visar resultat från enskilda mätningar på uttaget prov enligt spräckprincipen. Fyllda punkter visar resultat från enskild mätning med givare monterad i prov enligt olika principer. Eftersom de enskilda provvarianterna har olika temperaturhistoria så kan jämförelser mellan olika mätresultat endast göras inom en och samma variant (provnummer).

Resultaten visar att då tejp används registreras systematiskt lägre värde än för uttaget prov medan för skruv saknas en tydlig avvikelse då dessa resultat ligger både högre och lägre än de från uttaget prov. Ett litet antal borrhålmätningar genomfördes och dessa visar på tydlig överrensstämmelse med resultat från uttaget prov, se figur 3.15.

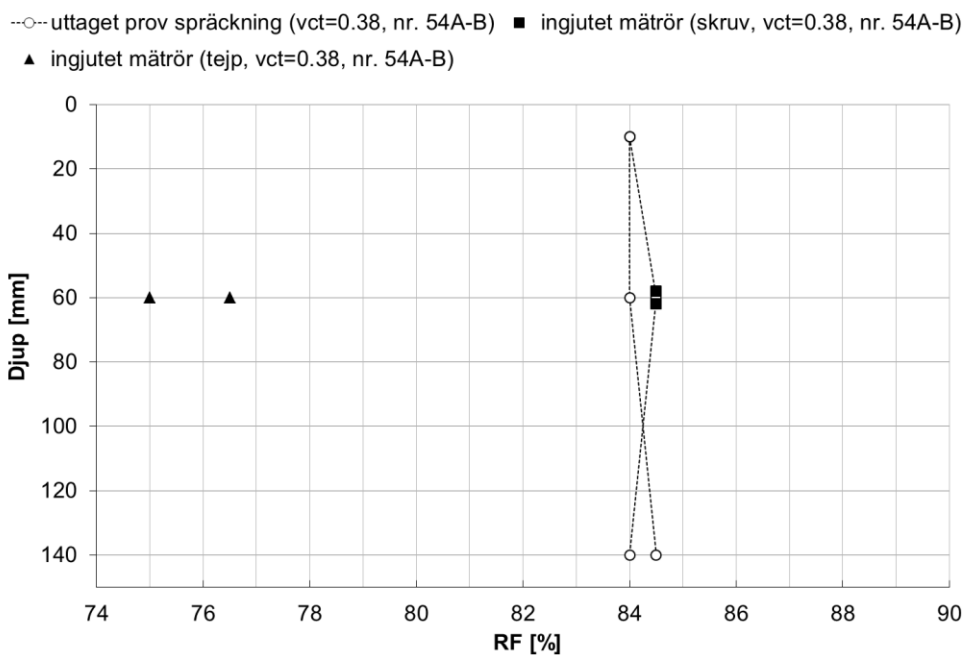
---○--- uttaget prov spräckning (vct=0.38, nr. 52A-B) ■ ingjutet mätrör (skruv, vct=0.38, nr. 52A-B)
▲ ingjutet mätrör (tejp, vct=0.38, nr. 52A-B)



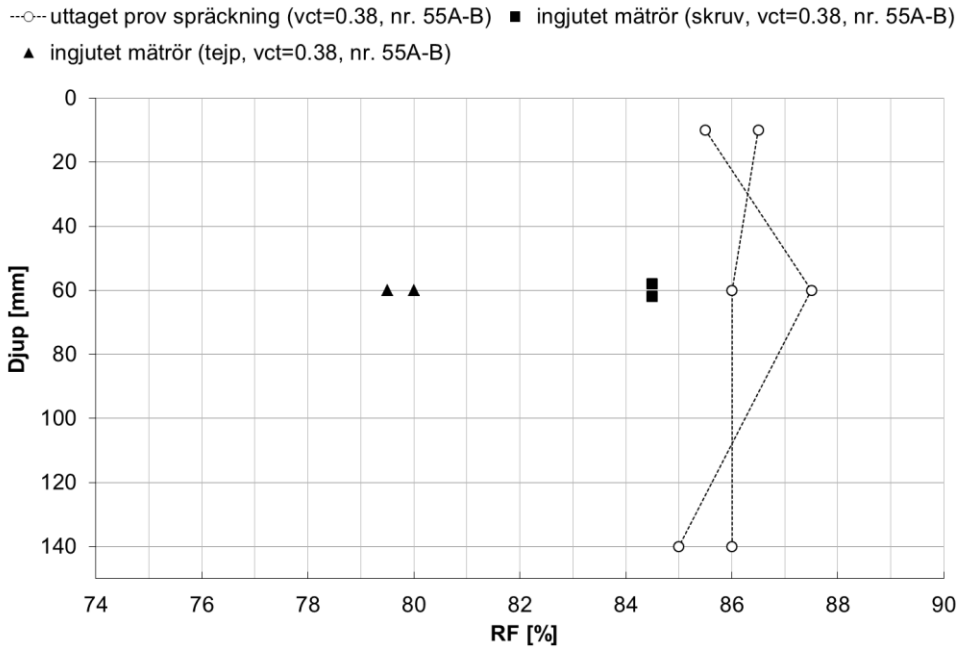
Figur 3.10 Relativ fuktighet mätt på förseglade prov med Vaisala-givare dels på uttaget prov från tre djup och dels i ingjutet mätrör på ett djup. Två ingjutna mätrör monterades per prov där ett försågs med kvarsittande kirurgisk tejp och det andra med skruv som hinder mot den färska betongen. Gjut- och lagring klimat enligt tabell 7.15.



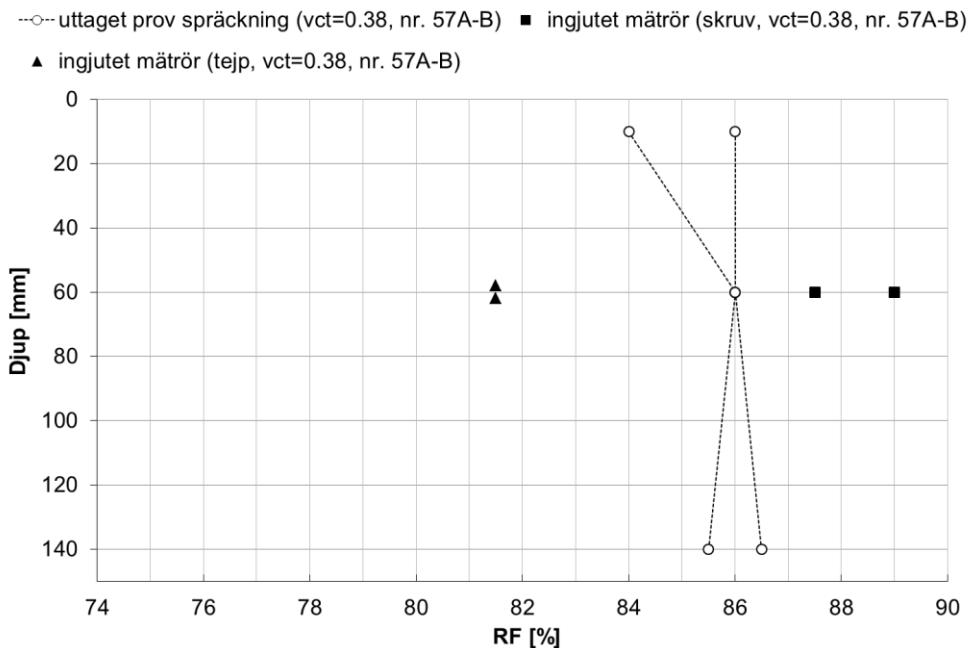
Figur 3.11 Relativ fuktighet mätt på förseglade prov med Vaisala-givare dels på uttaget prov från tre djup och dels i ingjutet mätrör på ett djup. Två ingjutna mätrör monterades per prov där ett försågs med kvarsittande kirurgisk tejp och det andra med skruv som hinder mot den färska betongen. Gjut- och lagring klimat enligt tabell 7.15.



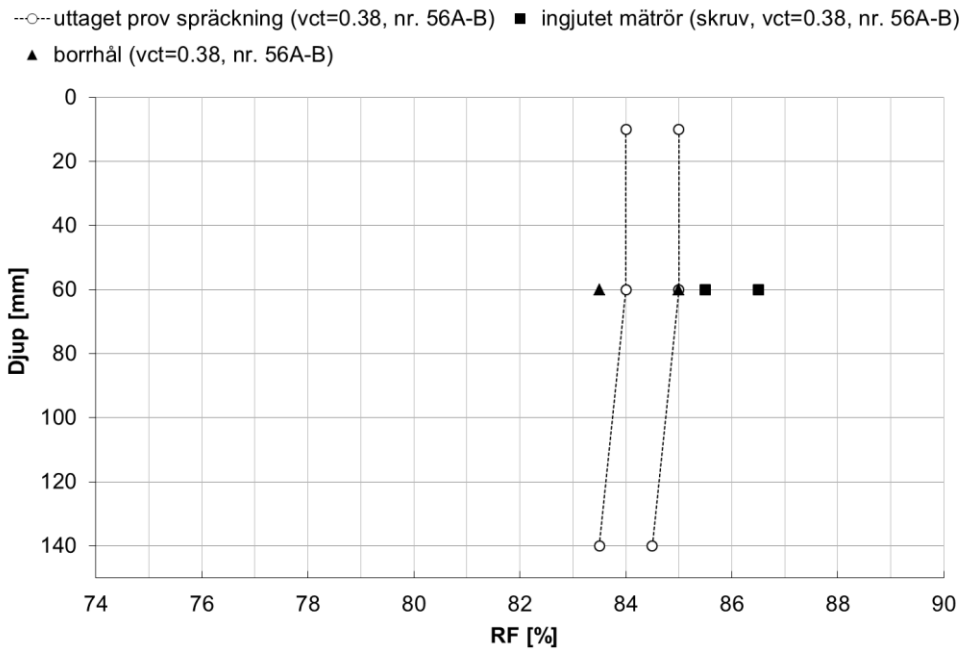
Figur 3.12 Relativ fuktighet mätt på förseglade prov med Vaisala givare dels på uttaget prov från tre djup och dels i ingjutet mätrör på ett djup. Två ingjutna mätrör monterades per prov där ett försågs med kvarsittande kirurgisk tejp och det andra med skruv som hinder mot den färska betongen. Gjut- och lagring klimat enligt tabell 7.15.



Figur 3.13 Relativ fuktighet mätt på förseglade prov med Vaisala-givare dels på uttaget prov från tre djup och dels i ingjutet mätrör på ett djup. Två ingjutna mätrör monterades per prov där ett försågs med kvarsittande kirurgisk tejp och det andra med skruv som hinder mot den färska betongen. Gjut- och lagring klimat enligt tabell 7.15.

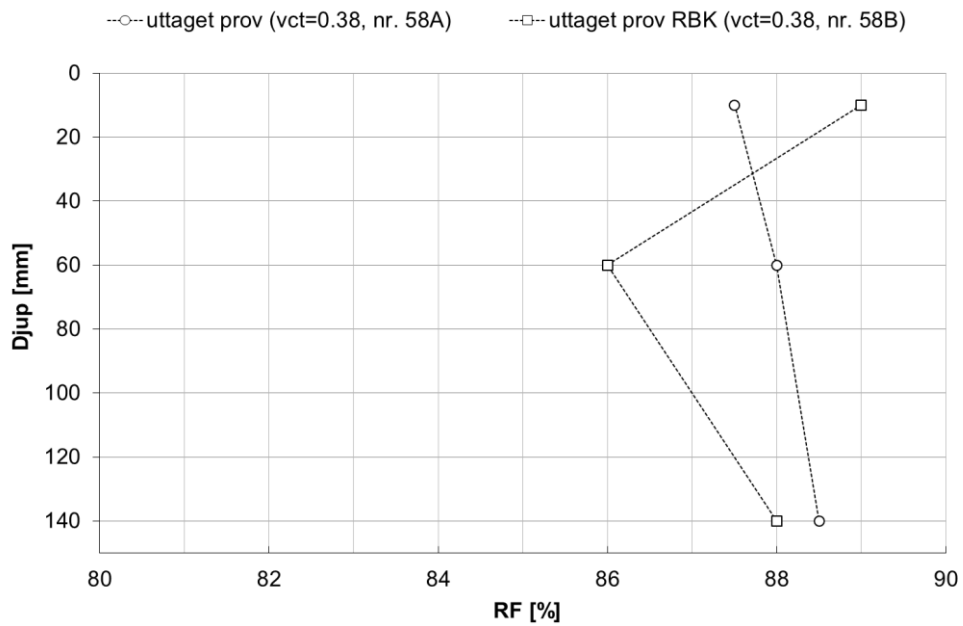


Figur 3.14 Relativ fuktighet mätt på förseglade prov med Vaisala-givare dels på uttaget prov från tre djup och dels i ingjutet mätrör på ett djup. Två ingjutna mätrör monterades per prov där ett försågs med kvarsittande kirurgisk tejp och det andra med skruv som hinder mot den färska betongen. Gjut- och lagring klimat enligt tabell 7.15.

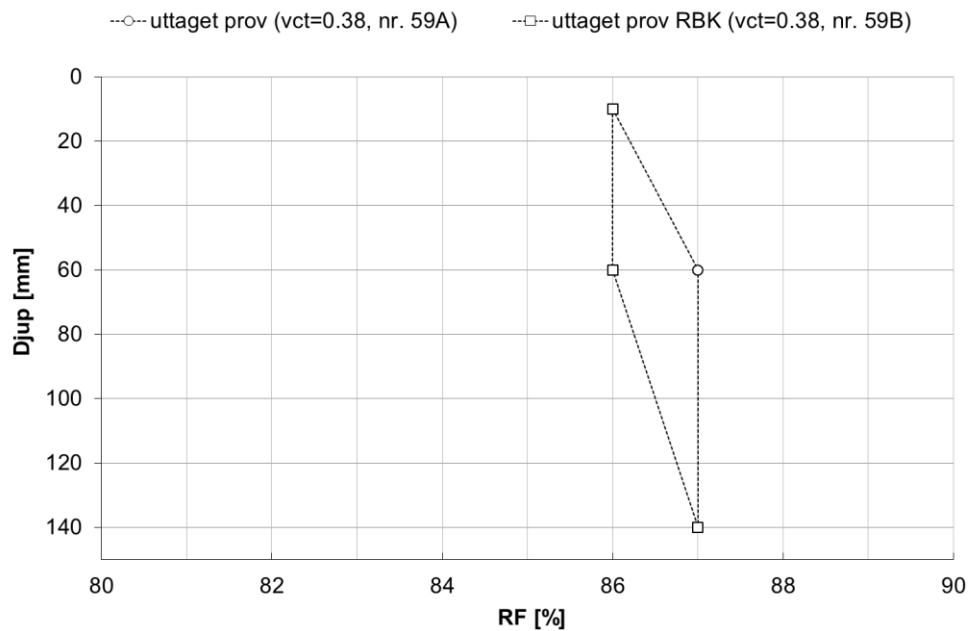


Figur 3.15 Relativ fuktighet mätt på förseglade prov med Vaisala-givare dels på uttaget prov från tre djup och dels i ingjutet mätrör på ett djup. Två ingjutna mätrör monterades per prov där ett försågs med kvarstannande kirurgisk tejp och det andra med skruv som hinder mot den färska betongen. Gjut- och lagring klimat enligt tabell 7.15.

I figur 3.16-3.17 jämförs resultat från uttaget prov dels enligt spräckprincipen och dels enligt RBK. Ingen tydlig avvikelse kunde noteras mellan de olika mätmetoderna. Vid en jämförelse av medelvärde för RF på alla tre djupen visade mätningen enligt RBK på något lägre RF.



Figur 3.16 Relativ fuktighet från uttaget prov, dels enligt spräckprincip och dels enligt RBK, mätt på tre djup i förseglad betong. Gjut- och lagringklimat enligt tabell 7.15.



Figur 3.17 Relativ fuktighet från uttaget prov, dels enligt spräckprincip och dels enligt RBK, mätt på tre djup i förseglad betong. Gjut- och lagringklimat enligt tabell 7.15.

3.5 SLUTSATS OCH DISKUSSION

När uttorkningsförloppet följdes parallellt med kvarstående RF-givare av fabrikat Vaisala och HumiGuard monterade enligt lika princip så noterades att HumiGuard givaren registrerade ett långsammare uttorkningsförlopp. Skillnaden skulle möjligen kunna förklaras med att HumiGuard-givaren monterades vid en högre initial fuktnivå eftersom denna från start var konditionerad med 85 % RF medan Vaisala-givaren var konditionerad till 55 % RF. Vaisala-givaren förbrukade då en något större mängd fukt från betongen närmast mätröret för att komma i jämvikt, förutsatt att dess fuktkapacitet är någorlunda lika den för HumiGuard. Om detta var förklaringen så borde skillnaden vara tydligast tidigt i uttorkningsförloppet för att sedan minska. Eftersom avvikelsen mellan mätmetoderna var relativt konstant över tid utan att visa på en avtagande tendens så borde denna förklaring inte vara sannolik. En annan förklaring kan vara att HumiGuard-givaren hade svårare att lämna ifrån sig fukt och kanske i kombination med att den eventuellt har en större fuktmängd att lämna ifrån sig för att komma till jämvikt med betongen. Om HumiGuard-givaren har en mycket brant sorptionsisoterm, det vill säga stor fuktkapacitet, i fuktområdet omkring 95 % RF så skulle resultatet av en montering vid denna fuktnivå resultera i mycket lång tid att nå jämvikt med betongen. Betongen blir allt tätare allt eftersom härdningsförloppet fortskrider vilket ytterligare försvårar fuktutbytet.

Jämförande mätningar mellan Vaisala- och HumiGuard-givare gjordes på uttagna prov utan att några systematiska avvikelser kunde noteras. Vid mätning på uttaget prov är betongens frilagda yta flerfaldigt större än då mätning sker med givare monterade i prov. Detta innebär i praktiken att givaren ges kontakt med en större tillgänglig mängd av provet och kan på så vis komma till jämvikt snabbare. Vid mätning med givare monterad i prov finns egentligen en större total provmängd men kontaktytan mellan betong och givare är liten samtidigt som betongen är mycket tät (väl härdad betong med lågt vct) vilket resulterar i mycket lång tid till uppnådd jämvikt.

Vid de jämförande mätningarna studerades också effekterna av att montera RF-givare i prov enligt olika principer. Det som egentligen varierades var utformningen av gränssnittet mellan betong och givare där den exponerade ytan hos betongen varierades på olika sätt. De provade givarna reagerade olika gränssnittets utformning. HumiGuard-givarna visade generellt högre värde jämfört med uttagna prov oberoende av hur de monterades medan Vaisala-givarna visade lägre RF när kontaktytan mellan givare och betong var begränsad. Då Vaisala-givare monterades i prov i mätrör där kontaktytan mot betongen var utökad kunde inga avvikelser noteras jämfört med resultat från uttaget prov.

4 GJUT- OCH LAGRINGSTEMPERATURENS INVERKAN PÅ BETONGENS SJÄLVUTTORKNING

4.1 INLEDNING

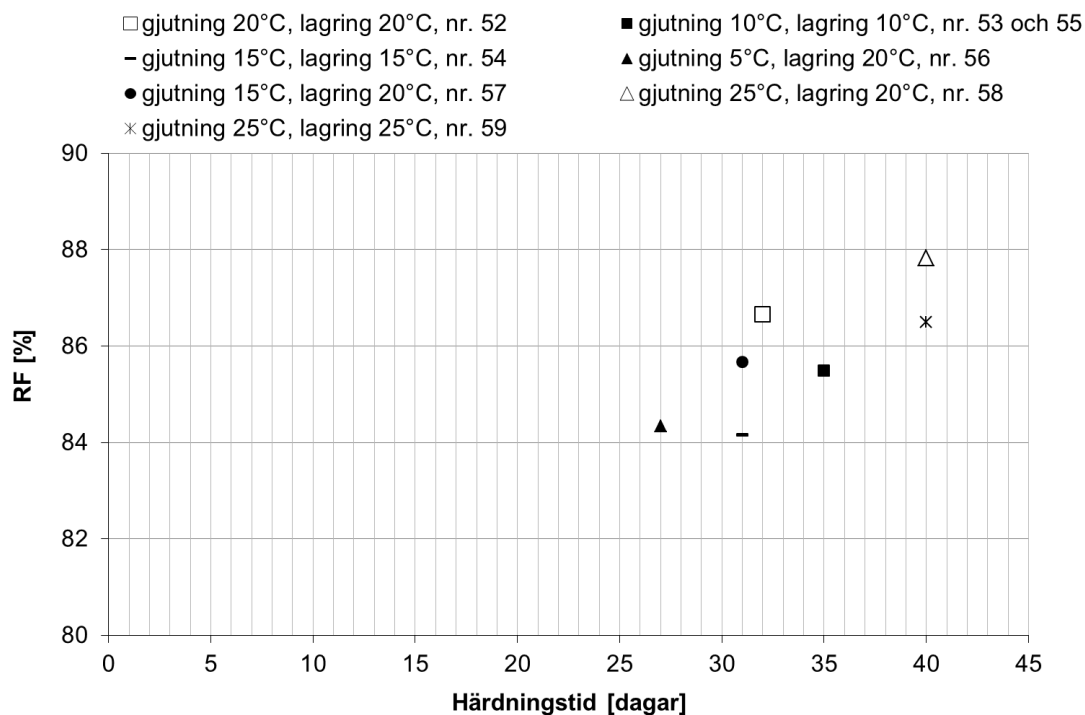
Vid jämförelse mellan uttorkningsförlopp hos betonger härdade på olika sätt, se avsnitt 2.2, visade härdningstemperaturen spela en avgörande roll. Prov som hade gjut- och lagringstemperatur 30°C första månaden uppvisade 4 % högre RF, efter cirka 6 månaders total härdningstid, jämfört med prov som lagrats i 20°C under hela härdningsförloppet. Vid jämförelse mellan prov som lagrats i 5°C respektive 30°C första månaden var skillnaden i RF cirka 6 % efter 6 månaders total härdningstid, det vill säga lagring i 20°C under månad 2-6. Uttorkningsförloppet hos prov med vct 0,45 uppvisade liknande temperaturberoende fast inte lika tydligt. För prov med vct 0,65 påträffades inget märkbart temperaturberoende hos uttorkningshastigheten. Eftersom nästa alla provade varianter enligt avsnitt 2.2 hade samma temperatur under gjutning som under lagring den första månaden så var det svårt att dra slutsatser om en förändrad gjuttemperatur var tillräcklig för att påverka uttorkningsförloppet. Syftet med denna delstudie var att klarlägga om gjut- eller lagringstemperaturen var mest avgörande för uttorkningsförloppet.

4.2 METOD

Undersökning genomfördes för att tydligt klarlägga om en förändring av gjuttemperaturen är tillräcklig för att påverka uttorkningsförloppet. Eftersom temperatureffekten var störst för betong med lågt vct, se avsnitt 2.2, så tillverkades 16 st. prov med vct 0,38 och recept enligt tabell 2.1. Proven görs i plåtburkar (5 liter) vilka förseglades med lock efter gjutning. Proven märktes 52-59 och av var variant fanns två identiska prov A och B. De identiska proven A och B göts med betong från samma blandning och lagrades på samma sätt. Gjut- och lagringstemperaturerna var olika för de olika varianterna vilket redovisas i tabell 7.15-7.16. Betongerna lagrades cirka 1 månad i respektive lagringsklimat före RF-mätning vilken genomfördes på uttaget prov. Provtagning inför fuktmätning gjordes enligt spräckprincipen vilken beskrivs utförligt i avsnitt 2.2. Prov togs ut från djupen 0-20, 50-70 och 130-150 mm och RF-mätningen på dessa genomfördes enligt beskrivning i avsnitt 2.2.

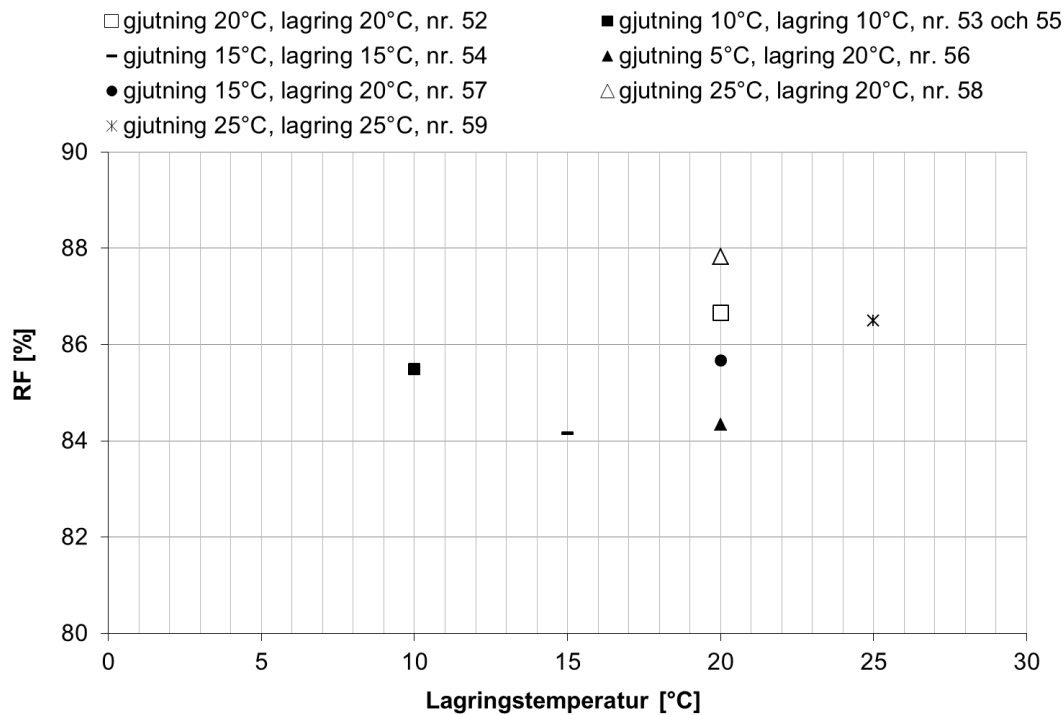
4.3 RESULTAT

En sammanställning av mätresultaten från uttaget prov tillsamas med gjut- och lagringstemperaturer finns i tabell 7.16. I figur 4.1 redovisas RF som funktion av härdningstid för alla varianter oberoende av gjut- och lagringstemperatur. De RF-nivåer som visas i diagrammet utgör medelvärde från mätning på tre djup per provkropp och från två provkroppar, det vill säga att total 6 mätvärden ligger bakom varje punkt. Härdningstiden varierade mellan 27-40 dygn. Resultatet visar tydligt att RF ökar med ökad härdningstid vilket innebär att gjut- och lagringstemperaturen till större grad än härdningstiden styr uttorkningen i tidsintervallet 27-40 dygn.

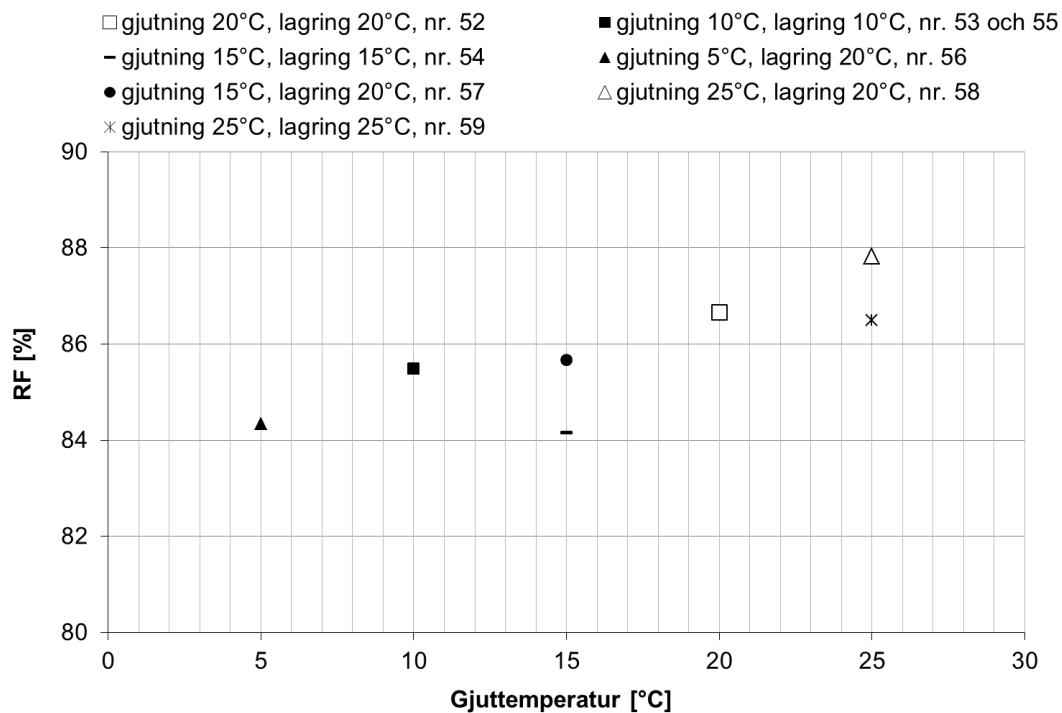


Figur 4.1 Relativ fuktighet som funktion av härningstid mätt på uttaget prov och redovisad som medelvärde av mätning på tre djup i förseglad betong (totalt 6 stycken mätpunkter). Gjut- och lagringklimat enligt tabell 7.15.

I figur 4.2 redovisas RF som funktion av lagringstemperatur och i figur 4.3 som funktion av gjuttemperatur. RF-nivåer som visas i diagrammen utgör medelvärde från mätning på tre djup per provkropp och från två provkroppar, det vill säga att totalt 6 mätvärden ligger bakom varje punkt. Enligt resultaten i figur 4.2 så råder inget samband mellan lagringstemperatur och RF hos proven. Resultaten som redovisas i figur 4.3 visar istället på att det är gjuttemperaturen som är avgörande för betongens uttorkning där en lägre gjuttemperatur resulterar i en snabbare uttorkning.



Figur 4.2 Relativ fuktighet som funktion av lagringstemperatur mätt på uttaget prov och redovisad som medelvärde av mätning på tre djup i förseglad betong (totalt 6 stycken mätpunkter). Gjut- och lagringklimat enligt tabell 7.15.



Figur 4.3 Relativ fuktighet som funktion av gjuttemperatur mätt på uttaget prov och redovisad som medelvärde av mätning på tre djup i förseglad betong (totalt 6 stycken mätpunkter). Gjut- och lagringklimat enligt tabell 7.15.

5 SLUTSATS OCH DISKUSSION

Vid jämförelse av uttorkningshastighet för olika prov spelade härdningstemperaturen en avgörande roll. Prov med hög gjut- och lagringstemperatur uppvisade markant långsammare uttorkning än prov som gjutits och lagrats i 20°C. Vid gjutning och lagring i låga temperaturer var förhållanden emellertid omvända och proven uppvisade då en bättre uttorkning än jämfört med härdning vid 20°C. Temperaturberoendet noterades endast hos betonger med låga vct och effekterna bestod även efter flera månaders vidare lagring i 20°C. Temperatureffekten undersöktes vidare i en utökad försöksserie där resultaten visade att betongtemperaturen vid gjutning påverkade uttorkningen till högre grad än lagringstemperaturen. Effekten av värmeisolering med betongtäckmatta undersöktes också och visade inte nämnvärt påverka uttorkningsförloppet oavsett betongkvalitet och lagringstemperatur. Orsaken var sannolikt att temperaturen i proven endast påverkades marginellt av betongtäckmatta.

Bindemedlens effekt på uttorkningsförmågan studerades vid parallella försök dels med Byggcement och dels med SH-cement. Försöken gjordes för vattencementtal 0,38 där syftet var att undersöka om ett byte av bindemedel kunde vara en möjlighet att nå snabbare uttorkning. Resultaten visade att uttorkningen hos proven med SH-cement var snabbare under det tidiga härdningsförloppet men efter cirka 2 månader nådde emellertid proven med Byggcement ikapp och därefter var uttorkningsförloppen relativt lika oavsett bindemedel.

Mätning av relativ fuktighet på olika djup tidigt under härdningsförloppet resulterade i gradienter med tydligt högre fuktnivåer i toppen av proven. Vid senare mätningar när proven tillåtits ytterligare lagringstid visade profilerna på utjämning. En trolig orsak till gradienterna kan vara kondensation på undersidan av formens plåtlock på grund av sjunkande temperatur uppåt i provet under det tidiga härdningsförloppet. Separation vid gjutning skulle kunna vara en annan möjlig orsak vilket förvisso inte kunde noteras vid tillverkning av proven.

Mätning av relativ fuktighet gjordes parallellt dels med mätning på uttaget prov och dels med givare monterad i prov. Jämförelse mellan mätmetoderna visade i vissa fall på betydande systematiska avvikelser om cirka 4 % relativ fuktighet. Avvikelse påträffades hos prov med låga vct medan för prov med högre vct överrenstämde mätresultaten. Förutom betongens vattencementtal så var temperaturhistorien en faktor som påverkade avvikelsen där prov som utsattes för klimatbyte under härdningsförloppet visade på tydligare avvikelse. Effekten av klimatbyte verkade oberoende om proven flyttats från varmt (30°C) eller kallt (5°C) klimat till 20°C. Skillnaden i resultat mellan de båda mätmetoderna bestod även efter flera månaders vidare lagring av proven i 20°C. En fördjupad experimentell studie gjordes med syfte att klara ut om avvikelsen mellan mätmetoderna kunde förklaras av att en viss mängd fukt förloras vid hantering av uttaget prov. Vid studien mättes den förlorade mängden fukt hos ett representativt prov och med hjälp av betongens desorptionsisoterm kunde sänkningen av den relativa fuktigheten beräknas till cirka 0,1 %. Således kunde den systematiska skillnaden i resultat mellan de båda mätmetoderna inte förklaras av att fukt förloras vid hantering av uttaget prov.

En fördjupad experimentell undersökning genomfördes med syfte att visa på vilken mätmetod som gav mest tillförlitliga resultat. När uttorkningsförloppet följdes parallellt med kvarsittande givare av fabrikat Vaisala och HumiGuard, monterade enligt lika princip, så noterades att HumiGuard-givaren registrerade ett långsammare uttorkningsförlopp. Vid de jämförande mätningarna studerades effekterna av att montera RF-givare i prov enligt olika principer. Det som egentligen varierades var utformningen av gränssnittet mellan betong och givare där

betongens exponerade yta varierades på olika sätt. De provade givarna reagerade olika på gränssnittets utformning där HumiGuard generellt visade högre värde oberoende av monteringsätt medan Vaisala visade oväntat låga värden när kontaktytan mellan givare och betong var begränsad. Skillnaden i beteende mellan givarna skulle möjligen kunna förklaras med att HumiGuard-givaren monterades vid en högre initial fuktnivå eftersom denna från start var konditionerad till 85 % relativ fuktighet medan Vaisala-givaren var konditionerad till 55 % relativ fuktighet. Om skillnader i givarnas initiala fuktillstånd var den huvudsakliga förklaringen så borde avvikelserna avta under mätförloppet vilket inte var fallet utan de var istället relativt konstanta. En mer sannolik förklaring kan vara att HumiGuard-givaren hade svårare att lämna ifrån sig fukt och kanske också i kombination med att den hade en större fuktmängd att lämna ifrån sig för att komma till jämvikt med betongen.

Jämförande mätningar med Vaisala- och HumiGuard-givare gjordes också på uttagna prov utan att några systematiska avvikelser kunde noteras. Vid mätning på uttaget prov var betongens frilagda yta flerfaldigt större än då mätning skedde med givare monterade i prov. Detta innebar i praktiken att givaren gavs kontakt med en större tillgänglig mängd av provet och kunde på så vis komma till jämvikt snabbare. Vid mätning med givare monterad i prov fanns egentligen en större total provmängd men kontaktytan mellan betong och givare var liten samtidigt som betongen var mycket tät (väl härdad betong med lågt vct) vilket resulterade i mycket lång tid till uppnådd jämvikt.

Sammanfattningsvis var det många faktorer i undersökningen som visade på svårigheter att mäta relativ fuktighet i betong med lågt vct. Avvikelseerna var speciellt stora då givare monteras i prov under pågående härdning. Resultaten var tydligt beroende av dels vilken typ av givare som användes och dels av utformningen hos kontaktytan mellan givare och betong. Också vid vilken tidpunkt under uttorkningsförloppet som givaren monterades verkade ha betydelse. Mycket i resultaten visade på att det fanns ogynnsamma kombinationer av givare och monteringsätt med resultat att givaren fick svårighet att komma till jämvikt med betongen inom rimlig tid. Mätningar på uttaget prov visade på likvärdiga resultat oberoende av vilken givare som användes. Detta tillsammans med att effekten av förlorad fukt vid hantering av uttaget prov var mycket begränsad och uppgick till cirka 0,1 % relativ fuktighet vilket indikerar att mätningarna på uttaget prov gav mest tillförlitligt resultat.

6 REFERENSER

Arfvidsson J. och Hedenblad G. (2007), "*A new model to calculate the drying of concrete*" Proceedings from the 10th International Building performance simulation association conference and exhibition, Tsinghua University, Beijing, China, September 3-6, 2007.

Nilsson, L-O (1980) "*Hygroscopic moisture in concrete – drying, measurements and related material properties*", doktorsavhandling TVBM-1003, Avd Byggnadsmaterial, LTH.

7 BILAGA

7.1 Recept för gjutningar vid 5°C

Tabell 7.1 Fuktkvot hos ballast för gjutningar vid 5°C

Ballast (mm)	Fuktkvot (%)
0-8	1,16
8-12	0,1
12-16	0,1

Tabell 7.2 Ursprungliga- samt korrigerade recept med hänsyn till bearbetbarhet och fukttinhåll i ballast.

Delmaterial för 130L blandning (kg)	Vattencementtal					
	0,38		0,45		0,65	
	Ursprunglig	Slutlig	Ursprunglig	Slutlig	Ursprunglig	Slutlig
Bindemedel (Byggcement)	58,5	58,5	54,6	54,6	41,6	41,6
Vatten	22,23	20,79	24,57	23,1	27,04	25,64
Ballast (0-8 mm)	114,4	115,73	117,52	118,882	127,01	128,48
Ballast (8-12 mm)	57,2	57,26	54,21	54,26	52,00	52,05
Ballast (12-16 mm)	57,2	57,26	54,21	54,26	51,87	51,92
Flyttillsats (Sika Evo 26)	-	0,428	-	0,116	-	-

Tabell 7.3 Egenskaper hos betonger (slutliga) blandade vid 5°C.

Vattencementtal	0,38	0,45	0,65
Sättnått (mm)	95	120	115
Luft (l/m ³)	2,5	3,0	2,1
Densitet, färsk betong (kg/m ³)	2400	2340	2330
Vattentemperatur (°C)	0,3	0-0,5	1,1
Temperatur, färsk betong (°C)	5,2	4,5	5,6
Kubhållfasthet, medelvärde (MPa)	87	76	50
Kubhållfasthet, standardavvikelse (MPa)	2,0	0,8	0,4

7.2 Recept för gjutningar vid 20°C

Tabell 7.4 Fuktkvot hos ballast för gjutningar vid 20°C

Ballast (mm)	Fuktkvot (%)
0-8	3,9
8-12	0,2
12-16	0,1

Tabell 7.5 Recept för ursprungliga betonger (sättnått 150 mm) av respektive vattencementtal samt delmaterial som (kg/m³).

Delmaterial för 130L blandning (kg)	Vattencementtal					
	0,38		0,45		0,65	
	Ursprunglig	Slutlig	Ursprunglig	Slutlig	Ursprunglig	Slutlig
Bindemedel (Byggcement)	58,5	58,5	54,6	54,6	32	16
Vatten	22,23	17,60	24,57	20,01	16,87	8,435
Ballast (0-8 mm)	114,4	118,86	117,52	121,65	101,51	50,75
Ballast (8-12 mm)	57,2	57,31	54,21	54,79	40,08	20,04
Ballast (12-16 mm)	57,2	57,26	54,21	54,36	39,94	19,97
Flyttillsats (Sika Evo 26)	0,361	0,329	-	0,152	-	-

Tabell 7.6 Egenskaper hos betonger (slutliga) blandade vid 20°C.

Vattencementtal	0,38	0,45	0,65 (100L)	0,65 (50L)
Sättnått (mm)	165	137	130	120
Luft (l/m ³)	2,2	2,9	2,35	2,1
Densitet, färsk betong (kg/m ³)	2380	2350	2330	2320
Vattentemperatur (°C)	-	-	-	-
Temperatur, färsk betong (°C)	-	-	-	-
Kubhållfasthet, medelvärde (MPa)	88	76	43	-
Kubhållfasthet, standardavvikelse (MPa)	0,4	1,6	0,2	-

7.3 Recept för gjutningar vid 30°C

Tabell 7.7 Fuktkvot hos ballast för gjutningar vid 30°C.

Ballast (mm)	Fuktkvot (%)
0-8	1,79
8-12	0,1
12-16	0,1

Table 7.8 Recept för ursprungliga betonger (sättnått 150 mm) av respektive vattencementtal samt delmaterial som (kg/m³).

Delmaterial för 130L blandning (kg)	Vattencementtal					
	0,38		0,45		0,65	
	Ursprunglig	Slutlig	Ursprunglig	Slutlig	Ursprunglig	Slutlig
Bindemedel (Byggcement)	58,5	58,5	54,6	54,6	41,6	41,6
Vatten	22,23	20,07	24,57	22,36	27,04	22,66
Ballast (0-8 mm)	114,4	116,45	117,52	119,62	127,01	129,28
Ballast (8-12 mm)	57,2	57,26	54,21	54,26	52,00	52,05
Ballast (12-16 mm)	57,2	57,26	54,21	54,26	51,87	51,92
Flyttillsats (Sika Evo 26)	-	0,334	-	0,087	-	-

Table 7.9 Egenskaper hos betonger (slutliga) blandade vid 30°C.

Vattencementtal	0,38	0,45	0,65
Sättnått (mm)	160	130	80
Luft (l/m ³)	3,0	2,4	2,2
Densitet, färsk betong (kg/m ³)	2380	2350	2330
Vattentemperatur (°C)	-	0	-
Temperatur, färsk betong (°C)	32,8	33	32
Kubhållfasthet, medelvärde (MPa)	82	67	43
Kubhållfasthet, standardavvikelse (MPa)	1,7	0,2	1,0

7.4 Provplan och resultatsammanställningar för uttorkningsförsök

Tabell 7.10a Provplan till försök enligt avsnitt 2.3.

Prov	vct	Betongtemperatur vid gjutning (°C)	Betongtäckmatta, 0-24 tim	Lagringsklimat, 0-28 dygn Temp/RF (°C/%)	Årstid
1 a-d	0.38	5°C	Ja	5°C, 80%	vinter
2 a-d	0.38	5°C	Ja	5°C, förseglad	vinter
3 a-d	0.38	5°C	–	5°C, 80%	vinter
4 a-d	0.38	5°C	–	5°C, vatten (0-14 dygn)+80%	vinter
5 a-d	0.38	5°C	–	5°C, förseglad	vinter
6 a-d	0.38	30°C	–	5°C, 80%	vinter
7 a-d	0.38	30°C	–	5°C, förseglad	vinter
8 a-d	0.38	20°C	Ja	20°C, 55%	sommar
9 a-d	0.38	20°C	Ja	20°C, förseglad	sommar
10 a-d	0.38	20°C	–	20°C, 55%	sommar
11 a-d	0.38	20°C	–	20°C, vatten (0-14 dygn)+55%	sommar
12 a-d	0.38	20°C	–	20°C, förseglad	sommar
13 a-d	0.38	30°C	–	30°C, 35%	sommar
14 a-d	0.38	30°C	–	30°C, vatten (0-14 dygn)+35%	sommar
15 a-d	0.38	30°C	–	30°C, förseglad	sommar
16 a-d	0.45	5°C	Ja	5°C, 80%	vinter
17 a-d	0.45	5°C	Ja	5°C, förseglad	vinter
18 a-d	0.45	5°C	–	5°C, 80%	vinter
19 a-d	0.45	5°C	–	5°C, vatten (0-14 dygn)+80%	vinter
20 a-d	0.45	5°C	–	5°C, förseglad	vinter
21 a-d	0.45	30°C	–	5°C, 80%	vinter
22 a-d	0.45	30°C	–	5°C, förseglad	vinter
23 a-d	0.45	20°C	Ja	20°C, 55%	sommar
24 a-d	0.45	20°C	Ja	20°C, förseglad	sommar
25 a-d	0.45	20°C	–	20°C, 55%	sommar
26 a-d	0.45	20°C	–	20°C, vatten (0-14 dygn)+55%	sommar
27 a-d	0.45	20°C	–	20°C, förseglad	sommar
28 a-d	0.45	30°C	–	30°C, 35%	sommar
29 a-d	0.45	30°C	–	30°C, vatten (0-14 dygn)+35%	sommar
30 a-d	0.45	30°C	–	30°C, förseglad	sommar
31 a-d	0.65	5°C	Ja	5°C, 80%	vinter
32 a-d	0.65	5°C	Ja	5°C, förseglad	vinter
33 a-d	0.65	5°C	–	5°C, 80%	vinter

Tabell 7.10b Provplan till försök enligt avsnitt 2.3.

Prov	vct	Betongtemperatur vid gjutning (°C)	Betongtäckmatta, 0-24 tim	Lagringsklimat, 0-28 dygn Temp/RF (°C/%)	Årstid
34 a-d	0.65	5°C	–	5°C, vatten (0-14 dygn)+80%	vinter
35 a-d	0.65	5°C	–	5°C, förseglad	vinter
36 a-d	0.65	30°C	–	5°C, 80%	vinter
37 a-d	0.65	30°C	–	5°C, förseglad	vinter
38 a-d	0.65	20°C	Ja	20°C, 55%	sommar
39 a-d	0.65	20°C	Ja	20°C, förseglad	sommar
40 a-d	0.65	20°C	–	20°C, vatten (0-14 dygn)+55%	sommar
41 a-d	0.65	20°C	–	20°C, 55%	sommar
42 a-d	0.65	20°C	–	20°C, förseglad	sommar
43 a-d	0.65	30°C	–	30°C, 35%	sommar
44 a-d	0.65	30°C	–	30°C, vatten (0-14 dygn)+35%	sommar
45 a-d	0.65	30°C	–	30°C, förseglad	sommar
46 a-c	0.38-SH	20°C	–	20°C, 55% (jämför 10 a-d)	sommar
47 a-c	0.38-SH	20°C	–	20°C, Sealed (jämför 12 a-d)	sommar
48 a-c	0.38-SH	30°C	–	5°C, 80% (jämför 6 a-d)	vinter
49 a-c	0.38-SH	30°C	–	5°C, Sealed (jämför 7 a-d)	vinter

SH= Snabbhärdande cement

Tabell 7.11a Resultatsammanställning av RF mätt på uttaget prov med givare av fabrikat Vaisala. Proven togs ut enligt spräckprincipen, se avsnitt 2.3.

Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)
1A	0-20	21	79,5	1B	0-20	44	73	1C	0-20	121	65,5
	50-70	21	83,0		50-70	44	81		50-70	121	76,5
	130-150	21	83,0		130-150	44	82		130-150	121	76,5
2A	0-20	21	86,5	2B	0-20	44	83	2C	0-20	121	81,0
	50-70	21	85,0		50-70	44	81,5		50-70	121	81,0
	130-145	21	86,5		130-150	44	81		130-150	121	79,0
3A	0-20	21	79,0	3B	0-20	44	71	3C	0-20	121	62,5
	50-70	21	82,5		50-70	44	79,5		50-70	121	75,5
	130-150	22	82,5		130-150	44	81		130-150	121	80
4A	0-20	22	89,0	4B	0-20	44	76,5	4C	0-20	121	70
	50-70	22	85,0		50-70	44	83		50-70	121	80
	125-145	22	85,5		130-150	46	82		130-150	121	81,5

Tabell 7.11b Resultatsammanställning av RF mätt på uttaget prov med givare av fabrikat Vaisala. Proven togs ut enligt spräckprincipen, se avsnitt 2.3.

Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)
5A	0-20	22	87,0	5B	0-20	46	82,5	5C	0-20	121	82
	50-70	22	84,5		50-70	46	83		50-70	121	82
	125-145	22	83,5		130-150	46	82		130-150	121	80,5
6A	0-20	26	82,0	6B	0-20	50	75	6C	0-20	125	68
	50-70	27	84,5		50-70	50	82		50-70	125	79
	130-145	27	85,0		130-150	50	82,5		130-150	125	81
7A	0-20	27	90,0	7B	0-20	50	84,5	7C	0-20	125	81
	50-70	27	87,0		50-70	50	83,5		50-70	125	82,5
	130-145	27	88,5		130-150	50	83,5		130-150	127	81,5
8A	0-20	18	81,0	8B	0-20	48	74,0	8C	0-20	129	70
	50-70	18	87,0		50-70	48	83,0		50-70	129	80
	130-150	X	X		130-150	48	84,5		130-150	129	83
9A	0-20	18	90,0	9B	0-20	48	85,5	9C	0-20	129	84
	50-70	18	89,5		50-70	48	86,0		50-70	129	84
	130-150	18	89,0		130-150	48	84,0		130-150	129	83
10A	0-20	18	79,0	10B	0-20	48	76,0	10C	0-20	129	65,5
	50-70	18	86,5		50-70	48	82,5		50-70	129	80,5
	130-150	20	86,5		130-150	48	83,5		130-150	129	82,5
11A	0-20	20	84,5	11B	0-20	50	80,0	11C	0-20	139	72,5
	50-70	20	87,0		50-70	50	84,5		50-70	139	81,5
	130-150	20	88,0		130-150	50	84,5		130-150	139	82,5
12A	0-20	20	90,0	12B	0-20	50	86,0	12C	0-20	170	83,5
	50-70	20	88,0		50-70	50	85,5		50-70	170	84
	130-150	20	87,5		130-150	50	85,0		130-150	170	84
13A	0-20	15	72,0	13B	0-20	46	74	13C	0-20	216	66
	50-70	15	86,0		50-70	46	75,5		50-70	216	78,5
	130-150	15	86,0		130-150	46	77		130-150	216	82,5
14A	0-20	15	92,5	14B	0-20	46	76,5	14C	0-20	216	72,5
	50-70	15	91,0		50-70	46	89,5		50-70	216	82
	130-150	15	90,0		130-150	46	89,5		130-150	216	85
15A	0-20	15	90,5	15B	0-20	48	91,5	15C	0-20	168	88
	50-70	15	90,5		50-70	48	90		50-70	168	88
	130-150	16	88,0		130-150	48	89,5		130-150	168	88

Tabell 7.11c Resultatsammanställning av RF mätt på uttaget prov med givare av fabrikat Vaisala. Proven togs ut enligt spräckprincipen, se avsnitt 2.3.

Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)
16A	0-20	30	84,0	16B	0-20	59	71	16C	0-20	212	64
	50-70	30	87,0		50-70	59	84		50-70	212	79,5
	130-150	30	87,0		130-150	59	85		130-150	212	83
17A	0-20	31	89,5	17B	0-20	59	85	17C	0-20	212	86
	50-70	31	88,0		50-70	59	86		50-70	212	86
	130-150	31	87,0		130-150	59	85,5		130-150	212	85
18A	0-20	31	82,0	18B	0-20	59	67,5	18C	0-20	212	63,5
	50-70	31	86,0		50-70	59	82,5		50-70	212	78
	130-150	31	87,0		130-150	59	83,5		130-150	213	81
19A	0-20	31	89,0	19B	0-20	59	80	19C	0-20	213	69,5
	50-70	31	92,5		50-70	59	87		50-70	213	82
	130-150	32	89,0		130-150	59	87		130-150	213	85
20A	0-20	32	92,0	20B	0-20	59	87	20C	0-20	164	85,5
	50-70	32	87,5		50-70	59	86		50-70	164	85,5
	130-150	32	87,0		130-150	59	85,5		130-150	165	85
21A	0-20	36	84,0	21B	0-20	63	69	21C	0-20	217	65,5
	50-70	36	89,0		50-70	63	84,5		50-70	217	79,5
	130-150	36	88,0		130-150	63	86		130-150	217	81
22A	0-20	36	90,5	22B	0-20	81	90,5	22C	0-20	217	90
	50-70	37	91,0		50-70	81	88,5		50-70	217	89
	130-150	37	90,0		130-150	81	87,5		130-150	217	87,5
23A	0-20	34	76,5	23B	0-20	64	75,5	23C	0-20	219	68
	50-70	34	88,0		50-70	64	85		50-70	219	79
	125-145	35	88,5		130-150	64	87		130-150	219	84
24A	0-20	35	89,0	24B	0-20	64	88,5	24C	0-20	219	87,5
	50-70	35	89,0		50-70	64	88,5		50-70	220	85,5
	130-150	35	89,0		130-150	64	86		130-150	220	86
25A	0-20	35	76,5	25B	0-20	64	70,5	25C	0-20	220	67
	50-70	35	86,5		50-70	64	84		50-70	220	81,5
	130-150	35	86,5		130-150	64	86		130-150	220	83,5
26A	0-20	35	84,0	26B	0-20	64	80,5	26C	0-20	220	70,5
	50-70	36	89,0		50-70	64	87,5		50-70	220	82
	130-150	36	89,0		130-150	64	87,5		130-150	220	87

Tabell 7.11d Resultatsammanställning av RF mätt på uttaget prov med givare av fabrikat Vaisala. Proven togs ut enligt spräckprincipen, se avsnitt 2.3.

Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)
27A	0-20	36	88,5	27B	0-20	64	87	27C	0-20	171	87,5
	50-70	36	88,5		50-70	64	87		50-70	171	87
	130-150	36	87,0		130-150	64	86		130-150	171	86,5
28A	0-20	27	58,5	28B	0-20	54	69	28C	0-20	218	70,5
	50-70	27	87,0		50-70	54	88,5		50-70	218	83
	135-145	27	89,5		130-150	54	90		130-150	218	86
29A	0-20	32	82,5	29B	0-20	57	84	29C	0-20	218	78,5
	50-70	32	92,5		50-70	57	91,5		50-70	218	86,5
	125-145	32	90,5		130-150	57	91,5		130-150	218	89
30A	0-20	32	94,0	30B	0-20	57	93	30C	0-20	169	91,5
	50-70	32	92,0		50-70	57	93		50-70	169	91
	125-145	32	91,0		130-150	57	93,5		130-150	169	90
31A	0-20	37	89,5	31B	0-20	105	76,5	31C	0-20	217	69,5
	50-70	37	94,0		50-70	105	87		50-70	217	85
	130-150	37	95,5		130-150	105	90		130-150	217	89,5
32A	0-20	37	97,5	32B	0-20	105	94,5	32C	0-20	217	95
	50-70	37	97,5		50-70	105	94,5		50-70	217	95
	130-150	37	97,5		130-150	105	94		130-150	217	95
33A	0-20	38	88,0	33B	0-20	105	73,5	33C	0-20	217	65
	50-70	38	93,5		50-70	105	87,5		50-70	217	86,5
	130-150	38	93,5		130-150	105	90,5		130-150	217	88,5
34A	0-20	38	94,0	34B	0-20	105	83,5	34C	0-20	217	77
	50-70	38	96,0		50-70	105	93		50-70	217	90
	130-150	38	96,0		130-150	105	94		130-150	217	92,5
35A	0-20	38	96,5	35B	0-20	105	95,5	35C	0-20	165	95,5
	50-70	38	96,0		50-70	105	94,5		50-70	165	96,5
	130-150	39	96,5		130-150	105	94		130-150	165	95
36A	0-20	43	88,0	36B	0-20	109	72,5	36C	0-20	221	73,5
	50-70	43	92,5		50-70	109	89		50-70	221	85,5
	130-150	43	94,0		130-150	109	92,5		130-150	222	88
37A	0-20	43	95,5	37B	0-20	109	95,5	37C	0-20	222	95
	50-70	43	96,0		50-70	109	95,5		50-70	222	95,5
	130-150	43	96,5		130-150	115	94		130-150	222	96

Tabell 7.11e Resultatsammanställning av RF mätt på uttaget prov med givare av fabrikat Vaisala. Proven togs ut enligt spräckprincipen, se avsnitt 2.3.

Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)
38A	0-20	41	83,0	38B	0-20	83	73,5	38C	0-20	224	72,5
	50-70	41	94,0		50-70	83	93		50-70	224	91
	130-150	41	96,0		130-150	83	95		130-150	224	91,5
39A	0-20	41	98,0	39B	0-20	107	96,5	39C	0-20	224	97,5
	50-70	41	97,5		50-70	107	96		50-70	224	96
	130-150	42	95,0		130-150	107	93		130-150	224	95
40A	0-20	42	93,0	40B	0-20	107	84	40C	0-20	224	80
	50-70	42	96,0		50-70	107	93,5		50-70	224	92,5
	130-150	42	95,5		130-150	107	93,5		130-150	224	93
41A	0-20	42	77,5	41B	0-20	107	81,5	41C	0-20	224	68,5
	50-70	42	94,0		50-70	107	90,5		50-70	225	91
	130-150	42	94,5		130-150	107	92		130-150	225	87
42A	0-20	42	98,0	42B	0-20	107	97,5	42C	0-20	171	96
	50-70	43	98,0		50-70	107	96		50-70	171	97
	130-150	43	96,5		130-150	107	95,5		130-150	173	95
43A	0-20	37	62,5	43B	0-20	81	65,5	43C	0-20	223	67,5
	50-70	37	92,5		50-70	81	90		50-70	223	86
	130-150	37	94,5		130-150	81	92		130-150	223	88,5
44A	0-20	37	94,0	44B	0-20	81	87	44C	0-20	223	78
	50-70	37	96,5		50-70	81	93		50-70	223	89,5
	130-150	37	96,0		130-150	81	94		130-150	223	94
45A	0-20	39	96,0	45B	0-20	81	96,5	45C	0-20	171	95,5
	50-70	39	96,5		50-70	81	96		50-70	169	95,5
	130-150	39	94,0		130-150	81	95		130-150	171	95,5
46A	0-20	19	76,0	46B	0-20	60	65,6	46C	0-20	112	70
	50-70	19	83,0		50-70	58	81,5		50-70	112	81
	130-150	19	82,5		130-150	60	83		130-150	112	83
47A	0-20	19	93,5	47B	0-20	60	87,5	47C	0-20	113	86
	50-70	19	85,0		50-70	58	86,6		50-70	113	84
	130-150	19	85,0		130-150	60	84,5		130-150	113	84
48A	0-20	20	80,5	48B	0-20	60	81,5	48C	0-20	113	68,5
	50-70	20	83,0		50-70	58	84		50-70	113	78
	130-150	20	85,5		130-150	60	84		130-150	113	80

Tabell 7.11f Resultatsammanställning av RF mätt på uttaget prov med givare av fabrikat Vaisala. Proven togs ut enligt spräckprincipen, se avsnitt 2.3.

Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)	Prov	Mät djup (mm)	Ålder (dygn)	RF (%)
49A	0-20	20	90,0	49B	0-20	60	83,5	49C	0-20	113	77
	50-70	20	85,0		50-70	58	85		50-70	113	82,5
	130-150	20	87,0		130-150	60	84		130-150	113	80,5

Tabell 7.12a Resultatsammanställning av RF mätt med kvarsittande givare av fabrikat Vaisala, se avsnitt 2.3.

Prov	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)
1d	9	88,3	17	84,2	23	82,4	31	80,9	42	82,8	52	82
	63	81,8	73	81,6	92	81,2	112	81,1	137	80,7	214	79,6
2d	9	89,4	17	86	23	84,5	31	83,2	42	84,8	52	84,1
	63	84,2	73	84,3	92	84,6	112	85	137	85,4	214	86,1
3d	9	87,8	17	83,3	23	81,3	31	79,5	42	81,9	52	80,6
	63	80,1	73	79,6	92	79	112	78,6	137	78	214	76,7
4d	9	89	17	87	23	86	31	84,5	42	84,8	52	82,9
	63	82	73	81,5	92	80,6	112	80,2	137	79,5	214	78,2
5d	9	89,3	17	86,1	23	84,8	31	83,8	42	85,7	52	85,2
	63	85,5	73	85,5	92	85,7	112	86,2	x	x	x	x
6d	13	87,3	21	84,1	27	82,7	35	81,4	46	84,4	56	83,3
	67	82,8	77	82,4	96	81,5	116	81,1	141	80,6	218	78,7
7d	13	89,4	21	86,7	27	85,4	35	84,2	46	86,3	56	85,3
	67	85,2	77	85,1	96	85,2	116	85,6	141	86	218	86,7
8d	11	88,1	19	87,2	25	86,7	33	86	44	85,4	54	84,6
	65	83,8	75	83,4	94	82,7	114	82,2	139	81,5	216	80
9d	11	89,2	19	88,8	25	88,6	33	88,3	44	88,2	54	88,1
	65	88,1	75	88	94	87,9	114	88	139	87,8	216	87,5
10d	11	86,8	19	85,7	25	85,2	33	84,5	44	84	54	83,5
	65	82,9	75	82,6	94	81,6	114	81,1	139	80,5	216	79
11d	11	88,2	19	87,5	25	87	33	86,3	44	85,8	54	85,2
	65	84,8	75	84,4	94	83,7	114	83,3	139	82,7	216	81,5
12d	11	89,1	19	88,7	25	88,6	33	88,3	44	88,2	54	88,1
	65	88	75	88	94	87,9	114	88	139	87,8	216	x
13d	13	89,9	21	89,2	27	89,2	35	91,8	46	88,4	56	87,4
	67	86,6	77	86	96	85	116	84,3	141	83,5	218	81,6

Tabell 7.12b Resultatsammanställning av RF mätt med kvarsittande givare av fabrikat Vaisala, se avsnitt 2.3.

Prov	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)
14d	13	93,5	21	92,2	27	91,8	35	94,1	46	91,2	56	90,4
	67	89,7	77	89,2	96	88,2	116	87,7	141	86,9	218	85,3
15d	13	92	21	92,4	27	92,9	35	94,4	46	93,2	56	92,6
	67	92,1	77	91,8	96	91,1	116	90,7	141	x	218	x
16d	9	91	17	90,3	23	88,8	31	87,3	42	88	52	86,3
	63	85,4	73	84,7	92	83,7	112	83,1	137	82,4	214	80,8
17d	9	91,9	17	91,5	23	90,4	31	89,4	42	89,4	52	88,5
	63	88,4	73	88,3	92	88,4	112	88,9	137	89,2	214	90,2
18d	9	94,2	17	96,8	23	97	31	97	42	95,7	52	85,2
	63	84,1	73	83,4	92	82,4	112	81,9	137	81,1	214	79,4
19d	9	94,9	17	97,8	23	98	31	97,7	42	92,1	52	89,4
	63	88,1	73	87,2	92	86	112	85,2	137	84,6	214	83
20d	9	90,3	17	89,8	23	88,5	31	87,2	42	87,7	52	87
	63	87	73	87,1	92	87,3	112	87,8	137	88,2	214	x
21d	13	89,4	21	88,5	27	87,1	35	85,8	46	86,7	56	84,9
	67	84	77	83,2	96	81,9	116	81,2	141	80,4	218	78,5
22d	13	90,3	21	91,5	27	91	35	90,6	46	90,6	56	89,6
	67	89,2	77	89,1	96	89	116	89,2	141	89,4	218	90,2
23d	15	89,1	23	87,9	29	87,4	37	86,7	48	86,1	58	85,5
	69	84,9	79	84,5	98	83,6	118	83,2	143	82,8	220	81,3
24d	15	90,4	23	89,8	29	89,7	37	89,3	48	89,3	58	89,2
	69	89,1	79	89	98	88,8	118	88,9	143	88,8	220	88,7
25d	15	88,8	23	87,7	29	87,3	37	86,6	48	86	58	85,5
	69	85	79	84,6	98	83,8	118	83,4	143	82,9	220	81,6
26d	15	91,2	23	90,2	29	89,4	37	88,3	48	87,7	58	87,1
	69	86,5	79	86,1	98	85,4	118	85	143	84,5	220	83,5
27d	15	90,6	23	90,3	29	90	37	89,6	48	89,4	58	89,3
	69	89,2	79	89,1	98	89	118	89,2	143	89,3	220	x
28d	13	89,9	21	88,3	27	87,6	35	92,5	46	89,1	56	87,9
	67	86,9	77	86,3	96	85	116	84,2	141	83,4	218	81,2
29d	13	96,1	21	94,4	27	93,4	35	95,2	46	93	56	92,1
	67	91,3	77	90,8	96	89,8	116	89	141	88,2	218	86

Tabell 7.12c Resultatsammanställning av RF mätt med kvarsittande givare av fabrikat Vaisala, se avsnitt 2.3.

Prov	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)	Ålder (dygn)	RF (%)
30d	13	94,4	21	94,3	27	93,9	35	96,5	46	94,8	56	94
	67	93,3	77	92,9	96	92,2	116	91,9	141	91,7	218	x
31d	9	92,5	17	95,4	23	95,1	31	94,4	42	93,1	52	91,5
	63	90,5	73	89,7	92	88,2	112	87,1	137	86,1	214	83,9
32d	9	93,2	17	95,8	23	95,9	31	95,9	42	95,5	52	95,1
	63	94,4	73	93,4	92	91,4	112	89,9	137	89,2	214	88,5
33d	9	92,7	17	95,3	23	94,9	31	94,1	42	92,6	52	91
	63	89,9	73	89	92	87,4	112	86,4	137	85,5	214	83,5
34d	9	93,3	17	96,6	23	96,6	31	96,3	42	95,3	52	94
	63	93	73	92,2	92	90,7	112	89,6	137	88,7	214	86,5
35d	9	93,8	17	96,5	23	96,6	31	96,6	42	96,4	52	95,9
	63	95,5	73	95,3	92	95,4	112	95,1	137	94,6	214	x
36d	13	94,2	21	97,5	27	97,6	35	97,2	46	93,6	56	91,7
	67	90,7	77	90	96	88,8	116	87,9	141	86,8	218	84,7
37d	13	94,2	21	97,3	27	97,5	35	97,6	46	97,5	56	96,8
	67	96,4	77	96,3	96	96,4	116	97	141	97,2	218	97,6
38d	15	95,2	23	94,7	29	94,3	37	93,7	48	93,2	58	92,7
	69	92,3	79	91,8	98	91	118	90,4	143	89,8	220	88,3
39d	15	95,9	23	96,1	29	96,3	37	96,3	48	96,4	58	96,2
	69	96,1	79	96,1	98	96	118	96,3	143	95,9	220	95,9
40d	15	95,6	23	95,5	29	95,1	37	94,5	48	94	58	93,6
	69	93,2	79	93	98	92,4	118	92	143	91,3	220	89,8
41d	15	97,3	23	94,2	29	93,6	37	92,9	48	92,4	58	91,9
	69	91,3	79	90,8	98	89,9	118	89,2	143	88,4	220	86,6
42d	15	95,1	23	95,3	29	95,7	37	95,8	48	95,2	58	95,1
	69	94,9	79	94,6	98	93,5	118	93,4	143	91,8	220	x
43d	13	95,2	21	93,6	27	93,1	35	95,7	46	92,9	56	92,1
	67	91,5	77	90,9	96	89,8	116	89	141	88	218	85,3
44d	13	96	21	94	27	92,9	35	95,8	46	94,5	56	93,9
	67	93,4	77	93	96	92,1	116	91,4	141	90,6	218	88,8
45d	13	89,9	21	95,9	27	95,8	35	x	46	97,9	56	97,4
	67	97	77	96,8	96	96,4	116	96,1	141	95,9	218	x

X=Mätvärde saknas

7.5 Provplaner och resultatsammanställningar för försök med syfte att jämföra olika metoder för RF-mätning

Tabell 7.13 Provplan samt resultatsammanställning till inledande försök med syfte att jämföra olika metoder för mätning av RF enligt avsnitt 3.3. Här redovisas resultat från mätningar med RF givare monterad i prov.

Härdningsålder (dygn)			10	13	22	29	43	56	59
Prov	Mättdjup (mm)	Givare och montering	RF (%) mätt med givare monterad i prov						
1	95	H-tejp	89,8	87,5	85,7	85,4	85	84,7	
	60	H-tejp+oring	88,8	86,7	84,9	84,7	84,3	84,1	
2	95	H-tejp	89,5	87,7	86,2	85,9	85,6	85,3	
	60	H-tejp+oring	88,9	86,3	84,2	84	83,5	83,2	
3	95	H-tejp	88,3	86,1	84,5	84,3	84	83,7	
	60	H-tejp+oring	87,4	85,5	83,7	83,5	83,2	82,9	
4	95	V-skruv			85	84,5	84	83,5	
	95	V-uppborrat 20 mm							81
	60	H-skruv	88,8	86,4	84,8	84,6	84,2	83,9	
5	95	V-skruv			84,5	84	83	82,5	
	95	V-uppborrat 20 mm							82
	60	H-skruv	89,1	87,1	85,5	85,3	84,9	84,6	
6	95	V-skruv			84,5	84	83	82,5	
	95	V-uppborrat 20 mm							82
	60	H-skruv	89	86,8	85,4	85,1	84,7	84,3	

H= HumiGuard, V=Vaisala

Tabell 7.14 Provplan samt resultatsammanställning till inledande försök med syfte att jämföra olika metoder för mätning av RF enligt avsnitt 3.3. Här redovisas resultat från mätningar på uttaget prov.

Härdningsålder (dygn)		57	57	64
Givare		Vaisala	HumiGuard	Vaisala
Provkropp	Mättdjup (mm)	RF (%) mätt på uttaget prov		
1	10	82	80,7	
	60	80	81,3	
	140	82,5		
2	10	81,5		
	60	82		
	140	83	82,1	
3	10	83		
	60	80,5		
	140	83	82,2	
4	10			82
	60			82
	140			83,5
5	10			82
	60			81
	140			82,3
6	10			82,7
	60			82
	140			83

Tabell 7.15a Provplan samt mätresultat tillhörande huvudförsök med syfte att jämföra olika metoder för mätning av RF enligt avsnitt 3.3. Här redovisas resultat från mätningar med givare monterad i prov.

Gjutdata			Vaisala-givare monterad i prov				
Prov	Gjuttemp (°C)	Lagringstemp (°C)	Nivå (mm)	Ålder, avläs (dag)	RF-tejp (%)	RF skruv (%)	RF-borrhål (%)
52A	20	20	0-20	29	82	86,5	
			50-70				
			130-150				
52B	20	20	0-20	29	83	88,5	
			50-70				
			130-150				
53A	10	10	0-20	28	79	83,5	
			50-70				
			130-150				
53B	10	10	0-20	28	x	x	
			50-70				
			130-150				
54A	15	15	0-20	28	75	84,5	
			50-70				
			130-150				
54B	15	15	0-20	28	76,5	84,5	
			50-70				
			130-150				
55A	10	10	0-20	28	80	84,5	
			50-70				
			130-150				
55B	10	10	0-20	28	79,5	84,5	
			50-70				
			130-150				
56A	5	20	0-20	27		85,5	83,5
			50-70				
			130-150				
56B	5	20	0-20	27		86,5	85
			50-70				
			130-150				

^x Mätvärde saknas

Tabell 7.15b Provplan samt mätresultat tillhörande huvudförsök med syfte att jämföra olika metoder för mätning av RF enligt avsnitt 3.3. Här redovisas resultat från mätningar med givare monterad i prov.

Gjutdata			Vaisala-givare monterad i prov				
Prov	Gjuttemp (°C)	Lagringstemp (°C)	Nivå (mm)	Ålder, avläst (dag)	RF-tejp (%)	RF skruv (%)	RF-borrhål (%)
57A	15	20	0-20 50-70 130-150	28	81,5	87,5	
57B	15	20	0-20 50-70 130-150	28	81,5	89	
58A	25	20	0-20 50-70 130-150	28		88,5	86,5 ¹
58B	25	20	0-20 50-70 130-150	28		x	87,5 ¹
59A	25	25	0-20 50-70 130-150	28		85	84 ¹
59B	25	25	0-20 50-70 130-150	28		86	85,5 ¹

¹ Kort tid från borring till montering av givare

^x Mätvärde saknas

Tabell 7.16a Provplan samt mätresultat tillhörande huvudförsök med syfte att jämföra olika metoder för mätning av RF enligt avsnitt 3.3. Resultat från mätningar på uttaget prov.

Gjutdata			Vaisala-uttaget prov med spräckprincip (58B, 59B enl RBK)			
Prov	Gjuttemp (°C)	Lagringstemp (°C)	Nivå (mm)	Ålder, uttaget (dag)	RF (%)	RF _{medel} (%)
52A	20	20	0-20	32	87	86,5
			50-70		86	
			130-150		86,5	
52B	20	20	0-20	32	87,5	
			50-70		86,5	
			130-150		86,5	
53A	10	10	0-20	35	84	85,2 (53&55)
			50-70		85	
			130-150		85,5	
53B	10	10	0-20	35	86,5	
			50-70		85	
			130-150		85	
54A	15	15	0-20	31	84	84,0
			50-70		84	
			130-150		84,5	
54B	15	15	0-20	31	84	
			50-70		84,5	
			130-150		84	
55A	10	10	0-20	35	86,5	
			50-70		86	
			130-150		86	
55B	10	10	0-20	35	85,5	
			50-70		87,5	
			130-150		85	
56A	5	20	0-20	27	84	84,5
			50-70		84	
			130-150		83,5	
56B	5	20	0-20	27	85	
			50-70		85	
			130-150		84,5	

RF_{medel} Medelvärde av samtliga uttagna prov (6st) för respektive prov nr.

Tabell 7.16b Provplan samt mätresultat tillhörande huvudförsök med syfte att jämföra olika metoder för mätning av RF enligt avsnitt 3.3. Resultat från mätningar på uttaget prov.

Gjutdata			Vaisala-uttaget prov med spräckprincip (58B, 59B enl RBK)			
Prov	Gjuttemp (°C)	Lagringstemp (°C)	Nivå (mm)	Ålder, uttaget (dag)	RF (%)	RF _{medel} (%)
57A	15	20	0-20	31	84	85,5
			50-70		86	
			130-150		85,5	
57B	15	20	0-20	31	86	
			50-70		86	
			130-150		86,5	
58A	25	20	0-20	40	87,5	87,8
			50-70		88	
			130-150		88,5	
58B	25	20	0-20	40	89	
			50-70		86	
			130-150		88	
59A	25	25	0-20	40	86	86,5
			50-70		87	
			130-150		87	
59B	25	25	0-20	40	86	
			50-70		86	
			130-150		87	

RF_{medel} Medelvärde av samtliga uttagna prov (6st) för respektive prov nr.