

FUKTMÄTNING I BETONG MED LÅGT VCT, STEG 1



Peter Johansson

2014-12-22

Fuktmätning i betong med lågt vct, steg 1

Peter Johansson



**LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA**
Lunds universitet

ISRN LUTVDG/TVBM-14/3178-SE (1-85)

ISSN 0348-7911 TVBM

Lunds universitet

Avd Byggnadsmaterial

Box 118

221 00 Lund

Telefon: +46 46 222 74 15

www.byggnadsmaterial.lth.se

FÖRORD

Under senare år har det blivit allt vanligare att betong med lågt vattencementtal används i husbyggnadssammahang. En avgörande orsak är att man vill uppnå kortare uttorkningstider och därmed kortare byggtid. För att även fortsättningsvis undvika skador orsakade av otillräckligt uttorkad byggfukt krävs att uttorkningsförloppet hos betong kontrolleras genom mätning. Sedan cirka 15 år har systemet med fuktkontrollanter auktoriserade av Rådet för ByggKompetens (RBK) haft en avgörande betydelse för att säkerställa kvaliteten på mätning av relativ fuktighet (RF) i betong och också genom detta tillfört en betydande trovärdighet och ny kunskap.

Avvikelse inom RBK-systemet

Allt sedan användningen av betong med låga vattencementtal (vct) fått en ökad utbredning har också några fall med motstridiga mätresultat noterats. Under hösten 2011 kontaktades RBK av en RBK-auktoriserad kontrollant angående ett byggprojekt där han utfört RF-mätning med två skilda mätmetoder inom ett och samma objekt. Resultaten från mätningarna visade på betydande systematiska skillnader mellan uttaget prov och borrhålmätning. Skillnaden var i storleksordningen 4-7% RF vilket vanligen motsvarar flera månader i uttorkningstid. Mätningar utfördes även av ytterligare en auktoriserad kontrollant med snarlikt resultat. RBK utförde en revision av utförda mätningar inklusive ett arbetsplatsbesök för att klarlägga om fuktkontrollanterna avvikit från RBKs fukt mätningsrutiner utan att notera några brister. Orsak till avvikelserna i mätresultat mellan de två mätmetoderna kunde inte klarläggas.

Avvikelse vid mätningar inför TorkaS3

Vid laboratoriemätningarna bakom datorprogrammet TorkaS3, Arfvidsson och Hedenblad [2007], utfördes RF-mätningar på betong med vattencementtal i intervallet 0.38-0.63 enligt Johansson [2012]. Mätningarna gjordes med två principiellt olika metoder, dels mätning med kvarsittande sensor, HumiGuard, och dels mätning på uttaget prov med Vaisalasektor. Vid mätningarna observerades systematiska avvikelser på samma sätt som de som observerats inom RBK-organisationen för betonger med låga vattencementtal.

Denna studie

Det huvudsakliga syftet med denna studie var att klarlägga varför uttaget prov och borrhålmätning i betong med lågt vct ibland ger olika resultat. I uppgiften ingick också att visa vilka av RBK-systemets mätmetoder som ger ett RF-värde överrensstämmande med betongens RF. Projektet som helhet finansierades av SBUF och var uppdelat i två delstudier; Steg 1 med SBUF nr. 12656 och steg 2 med SBUF nr. 12706.

Den första delstudien inriktades mot praktisk fukt mätning i kontrollerad laboratoriemiljö där mätmetoder som används inom RBK-systemet jämfördes. För att få fram metodernas svagheter och identifiera kritiska faktorer så gjordes inte enbart mätningarna enligt RBK-systemets rekommendationer utan ett flertal varianter tillkom. Den andra delstudien, vilken gjordes parallellt med laboratoriemätningarna, var teoretisk och baserades i huvudsak på datorsimuleringar. Fuktbalansen mellan prov och fuktgivare beräknades samtidigt som ett flertal förutsättningar stegvis förändrades. Genom möjligheten att på kort tid kunna göra ett stort antal

datormuleringar med olika indata kunde mätsystemets kritiska parametrar också identifieras teoretiskt.

I denna rapport redovisas projektets steg 1 som helhet och i resultatdelen vägs slutsatser från datormuleringarna, enligt steg 2, också in. Båda delarna av studien genomfördes vid avdelning Byggnadsmaterial, LTH, och projektgruppen bestod av följande representanter;

Projektledare

-Ted Rapp, Sveriges Byggindustrier/RBK

Arbetsgrupp

-Stefan Backe Avd. Byggnadsmaterial, LTH

-Peter Johansson Avd. Byggnadsmaterial, LTH

-Magnus Åhs Avd. Byggnadsmaterial, LTH

Styrgrupp

-Lars-Olof Nilsson, Avd. Byggnadsmaterial LTH

-Ted Rapp, Sveriges Byggindustrier/RBK

Referensgrupp

-Fredrik Gränne, NCC

-Mattias Gunnarsson, PEAB Sverige AB*

-Hans Hedlund, Skanska Teknik/SBUF

-Ingrid Johansson, AK-Konsult Indoor Air AB*

-Nicklas Sahlén, FuktCom AB*

-Kajsa Levander, Byggnadsmiljö Mellansverige AB*

* RBK-auktorerad

INNEHÅLL

FÖRORD.....	iii
1 INLEDNING.....	1
2 METOD.....	2
2.1 PROVPROPPAR.....	2
2.1.1 Betongen.....	2
2.1.2 Plattor.....	2
2.1.3 Cylindriska provkroppar.....	8
2.2 MÄTNINGAR.....	8
2.2.1 Inledning.....	8
2.2.2 Betongtemperatur under härdningsförloppet.....	10
2.2.3 RF-mätning på uttaget prov.....	11
2.2.4 Fuktavgång från uttaget prov.....	13
2.2.5 RF-mätning i borrhål.....	14
2.2.6 Jämförelse mellan RF-mätning i borrhål och på uttaget prov.....	15
2.2.7 RF-mätning i borrhål under pågående temperaturvariationer.....	16
3 RESULTAT.....	18
3.1 PLATTOR MED 2 VECKORS LAGRING.....	18
3.1.1 RF-variation i en platta mätt med uttaget prov.....	18
3.1.2 Inverkan av konditioneringstid för uttaget prov.....	19
3.1.3 Inverkan av kondens i provrör.....	22
3.1.4 Jämförelse hel/halv provmängd.....	24
3.1.5 Inverkan av montering/demontering av givare samt flytt av prov till nytt provrör.....	26
3.1.6 Inverkan av konditioneringstid för borrhål.....	28
3.1.7 Inverkan av montering/demontering av givare i borrhål.....	29
3.2 PLATTOR MED 2 MÅNADERS LAGRING.....	33
3.2.1 Varierande konditioneringstid för uttaget prov.....	33
3.2.2 Inverkan av kondens i provrör.....	35
3.2.3 Jämförelse hel/halv provmängd.....	36
3.2.4 Inverkan av montering/demontering av givare samt flytt av prov till nytt provrör.....	38
3.2.5 Inverkan av konditioneringstid för borrhål.....	39
3.2.6 Inverkan av montering/demontering av givare i borrhål.....	41
3.3 PLATTA MED 8 MÅNADERS LAGRING.....	43
3.3.1 Jämförelse mellan mätning på uttaget prov och i borrhål.....	43
3.3.2 Inverkan av tidigare mätning i borrhål.....	46
3.3.3 Fuktavgång från uttaget prov.....	48
3.4 TEMPERATURINVERKAN VID BORRHÅLSMÄTNING.....	50
4 SAMMANFATTNING AV RESULTAT.....	54
4.1 MÄTNINGAR PÅ EN SERIE PLATTOR SOM HÄRDATS 2 VECKOR ELLER 2 MÅNADER.....	54
4.1.1 Variation av RF i en platta.....	54
4.1.2 Inverkan av konditioneringstid för uttaget prov.....	54
4.1.3 Inverkan av kondens i provrör.....	54
4.1.4 Jämförelse hel/halv provmängd.....	54

4.1.5	Inverkan av montering/demontering av givare samt flytt av prov till nytt provrör	54
4.1.6	Inverkan av konditioneringstid för borrhål	55
4.1.7	Inverkan av montering/demontering av givare i borrhål.....	55
4.2	MÄTNINGAR PÅ EN PLATTA MED 8 MÅNADERS HÄRDNINGÅLDER	55
4.2.1	Jämförelse mellan mätning i borrhål och på uttaget prov	55
4.2.2	Inverkan av tidigare mätning i borrhål.....	56
4.2.3	Fuktavgång från uttaget prov	57
4.3	TEMPERATURINVERKAN VID BORRHÅLSMÄTNING I CYLINDRISKA PROVKROPPAR	58
5	SLUTSATSER.....	60
6	REFERENSER.....	62
7	BILAGA (DETALJERAD PROVPLAN)	63

1 INLEDNING

I denna studie har ett stort antal jämförande mätningar av relativ fuktighet (RF) genomförts för att visa på skillnader mellan olika metoder. Mätningarna har genomförts på förseglade betongplattor som lagrats dels under två veckor och dels under två månader. Syftet med att undersöka betonger med två olika lagringsåldrar var att klara ut om den strukturförändring som sker med en ökad mognadsålder påverkar skillnaden i mätresultat mellan mätmetoderna. Försöken gjordes på betongplattor som lagrades förseglade för att förindra avdunstning och därmed variationer i RF över plattans tjockleksriktning.

Mätningar

Försöken genomfördes på betong med lågt vattencementtal (vct) eftersom erfarenheter inom RBK-systemet har visat på störst avvikelser för dessa betongkvaliteter. Detta bekräftas av en tidigare laboratoriestudie av uttorkningshastigheten hos betonger med olika vct, se Johansson [2012]. Resultat från studien visade entydigt att avvikelsen mellan olika mätmetoder ökade med ett minskat vct. Under senare år har betonger med vct mellan 0,35–0,4 blivit allt vanligare i husbyggnadssammanhang. Till denna undersökning valdes därför en betongkvalitet med vct 0,38 som ofta väljs när man prioriterar en kort uttorkningstid.

Försöken genomfördes som RF-mätningar på uttagna prov eller som borrhålmätningar enligt RBK-mätsystemets rutiner, RBK [2012]. Mätning på uttagna prov gjordes med givare av fabriken Vaisala och Testo medan vid borrhålmätningarna användes förutom dessa två också givare av fabrikat HumiGuard. Förutom mätningarna som gjordes helt enligt RBK-systemets rutiner så gjordes också ett stort antal mätningar där planerade avsteg i utförandet vidtogs. Som exempel provades både kortare och längre konditioneringstid för både borrhålmätning och uttaget prov. Också ett flertal andra varianter provades vilket framgår i avsnitt 2.2. Syftet med avstegen från RBKs utföranderutiner var att identifiera kritiska parametrar för, vilka var och en kan vara orsak till avvikelserna inom RBK-systemet.

Datorsimuleringar

För att möjliggöra en utökad känslighetsanalys och komplettera laboriemätningarna genomfördes en beräkningsbaserad parameterstudie med syfte att klarlägga vilka faktorer som är orsak till systematiska avvikelser mellan olika mätmetoder. Genomförandet av datorsimuleringarna och resultaten från dessa redovisas i Åhs [2014].

2 METOD

2.1 PROVPROPPAR

2.1.1 Betongen

Till samtliga betongblandningar användes Byggcement, Cementa AB Sverige, med ett varierande innehåll av obränd och mald kalksten mellan 13-15 vikts-% enligt tillverkaren. Sammansättningen hos betongen valdes så att den skulle representera en betong med lågt vct som vanligen används inom den svenska husbyggnadssektorn, se tabell 2.1.

Gjutningar gjordes vid kontrollerad temperatur 20°C för alla blandningar. Vid gjutdagens början mättes det genomsnittliga fukttinnehållet i den ballast som skulle användas under dagen. Recepten justerades därefter med hänsyn till fukttinnehåll i ballast samt den efterfrågade bearbetbarheten (uppskattat sättmått S1, 10-30 mm). Det låga sättmättet valdes för att separation skulle undvikas vid gjutning och bearbetning.

Tabell 2.1 *Betongrecept med delmaterial angivna som vikt per volymenhet (kg/m³).*

Vattencementtal	0,38
Bindemedel (Byggcement)	450
Vatten	171
Ballast (0-8mm)	880
Ballast (8-12mm)	440
Ballast (12-16mm)	440
Flyttillsats (Sika Evo 26)	1,7

2.1.2 Plattor

De huvudsakliga mätningarna, både på uttaget prov och i borrhål, gjordes på plattor med måtten 1200x800x150mm³ (LxBxH). Alla mätningar enligt den huvudsakliga provplanen, se Bilaga, gjordes på plattorna medan en mindre serie kompletterande borrhålmätningar gjordes på prov gjutna i 5 liters plåtburkar, se avsnitt 2.2.7. Syftet med de kompletterande mätningarna var att undersöka inverkan av temperaturvariationer i omgivningen under pågående borrhålmätning.

Formarna som användes vid gjutning av plattor för de huvudsakliga försöken var tillverkade av HD-polyeten med tjockleken 3 mm (Almoverken AB, Gnosjö, Sverige), se figur 2.1. Eftersom en del av plattorna skulle lagras förseglade under relativt lång tid utan att avge fukt var HD-polyeten, som har ett mycket stort ånggenomgångsmotstånd, ett lämpligt formmaterial, se Nevander och Elmarsson [1994]. Vid leverans hade formarna höjden 600 mm men kapades till den invändiga höjden 150 mm. För att underlätta försegling av formen, vilket skedde ett dygn efter gjutning, vidtogs åtgärdes såsom att förstavningsprofiler invid formens hörn och långsidor fylldes med fogsikum. Efter att skummet härdat jämnades den övre ytan av i nivå med formens överkant och belades med fogband av butyl (Isola AB, Knislige, Sverige), se figur 2.2. För att minska risken för sprickbildning i plattorna under provtagningsskedet placerades två armeringsjärn med diametern 6 mm som kantarmering i samtliga plattor, se figur 2.1. Centralt på formens botten placerades en stege av plast för att möjliggöra fixering av termoelement på olika djup och genomföringen för

termoelementen genom gjutformen förseglades med butylbaserad fogmassa (Icopal, Malmö, Sverige), se figur 2.3.



Figur 2.1 Gjutform för plattor med bottenyta $800 \times 1200 \text{ mm}^2$ och höjden 150 mm. Kantarmering för ingjutning placerades i formen samt hållare i vit plast för placering av termoelement för temperaturmätning på olika djup.



Figur 2.2 Gjutformens förstyvningsprofiler förseglades med butyltejp före gjutning för att underlätta försegling av formen, se Figur 2.8.



Figur 2.3 Tätning av kabelgenomföringar för termoelement med tätningsmassa av butyl.

Samtliga gjutningar gjordes med betongsammansättning enligt Tabell 2.1 där en relativt trög konsistens efterstävades med syfte att undvika separation vid bearbetning av betongen. Betongen göts i två skikt och betongen bearbetades med vibratorstav dels efter att första skiktet placerats i formen och dels efter att formen fyllts, se Figur 2.5.



Figur 2.4 Gjutning med trögflytande konsistens i två skikt med mellanliggande bearbetning med stavvibrator.



Figur 2.5 Gjutning med trögflytande konsistens i två skikt med mellanliggande bearbetning med stavvibrator.

Gjutningarna avslutas med att betongens yta jämnades av genom stålglättning, se Figur 2.6. En jämn yta eftersträvades för att underlätta försegling med butylduk vilket gjordes ett dygn senare. Efter gjutningen lagrades plattorna i 20 °C och 95 % relativ fuktighet under 1 dygn för att tillåtas torka tillräckligt så att försegling med butylduk och butyltejp kunde genomföras, se figur 2.7. Alla plattor, oavsett slutlig lagringstid, torkades enligt detta förfarande före försegling.



Figur 2.6 Betongplattans yta stålglättades efter gjutning för att den skulle bli så jämn som möjligt. Datorloggrar kopplade till termoelement för registrering av betongens temperatur under härdningsförloppet.



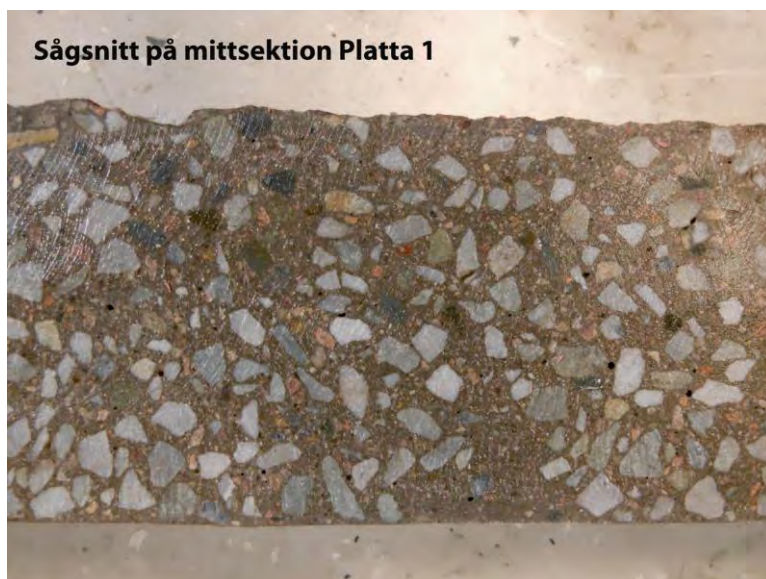
Figur 2.7 Betongplatta efter 1 dygns härdning i 20°C då betongens övre yta exponerats för 95 % RF.

Förseglingen av betongplattans yta gjordes med en 2 mm tjock duk av butyl (SealEco AB, Värnamo, Sverige). Anslutningen mellan duken och formen av HD-polyeten förseglades med fogband av butyl och för att undvika risk för otätheter mellan fogbandet och butylduken så applicerades slutligen butylbaserad fogmassa över skarven, se Figur 2.8.



Figur 2.8 *Betongplatta belagd med 2 mm butylduk och anslutning mellan butylduk och gjutform förseglad med butyltejp samt tätningsmassa av butyl.*

Som nämns tidigare i detta avsnitt var en grundläggande målsättning att få en så homogen betong som möjligt med avseende på olika orientering i plattorna och också vid jämförelse mellan olika plattor. Ett grundläggande krav vid gjutningarna var därför att eliminera risken för separation vid bearbetning av den färska betongen vilket bland annat säkerställdes genom ett lågt sättmått och en lagom avvägd kornfördelning hos ballasten. Ballastfördelningen i den härdade betongen undersöktes visuellt i två plattor, gjutna vid olika tillfällen, genom ett flertal sågsnitt orienterade som sektioner genom de två plattorna. I Figur 2.9 visas sågsnitt från mittsektionen hos en av de undersökta plattorna och resultatet visar tydligt på en homogen fördelning av ballast och cementpasta vilket var representativt för samtliga undersökta sågsnitt.



Figur 2.9 *Ballastfördelningen över plattans tjockleksriktning visad med sågsnitt genom mittsektion.*

2.1.3 Cylindriska provkroppar

Det är sedan länge känt att temperatursvängningar i omgivningen påverkar resultaten vid RF-mätning i borrhål. Försök genomfördes därför för att klara ut hur mycket resultaten påverkas och om åtgärder såsom värmeisolering av givarna kan minska temperatureffekten. För att kunna exponera proven för kontrollerade temperatursvängningar under pågående RF-mätning så göts prov i 5-liters burkar av plåt, se Figur 2.10, vilka kunde placeras i klimatskåp. Burkarna hade höjden 150 mm, det vill säga samma som plattorna enligt föregående avsnitt, och 24 stycken prov göts och lagrades i 20 °C och 95 % relativ fuktighet under 1 dygn. Därefter förseglades överytan med en 2 mm tjock butylduk (SealEco AB, Värnamo, Sverige) vilket gjordes genom att ett cirkulärt stycke av duken skars till med samma diameter som plåtburkens innerdiameter. Butylduken placerades på betongens yta och anslutningen mellan butylduken och plåtburken förseglades med butylbaserad fogmassa (Icopal, Malmö, Sverige). De förseglade provkropparna lagrades därefter i klimatkammare med stabil temperatur 20 °C fram till att RF-mätningarna startade.



Figur 2.10 *Provkropp till försök där RF-mätningar genomfördes i borrhål under pågående cykliska temperaturvariationer.*

2.2 MÄTNINGAR

2.2.1 Inledning

RF-mätningar gjordes på en serie plattor, se avsnitt 2.1, där mätningar från olika plattor skulle kunna jämföras. Mätserierna planerades så att ett antal grundläggande varianter av mätningarna utfördes helt enligt RBKs fuktmättningsmanual version 5, RBK [2010]. För att kunna identifiera svagheter samt systematiska skillnader i mätsystemet så provades också ytterligare ett stort antal varianter där avsteg med hänsyn till RBKs fuktmättningsrutiner gjordes enligt följande;

- Kondens i provrör efter provtagning
- Halv provmängd vid uttaget prov

- Förlängd konditioneringstid för borrhål och uttaget prov
- Förkortad konditioneringstid för borrhål och uttaget prov
- Upprepad montering och demontering av givare i borrhål och uttaget prov
- Inverkan av högt RF i omgivande klimat vid montering av givare för borrhål och uttaget prov
- Inverkan av lågt RF i omgivande klimat vid montering av givare i borrhål och uttaget prov
- Temperaturvariationer vid borrhålmätning med oisolerad och isolerad givare

Resultat från de RF-mätningar som redovisas i studien baseras på medelvärdet av tre individuella mätningar där dessa är gjorda på olika provpunkter för såväl borrhålmätning som för uttaget prov. Före varje mätning kalibrerades givarna, med undantag för givare av fabrikat HumiGuard, 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 givarna placerades i precisionsfuktkammare (Thunder scientific 2500). Fuktgeneratorns mätosäkerhet var $\pm 0,45$ % RF och $\pm 0,03$ °C.

Huvudsakligen gjordes mätningarna i tre deletapper där den första etappen gjordes på en stor serie plattor vilka lagrats i två veckor eller två månader före försöken. Huvudsakliga syftet med dessa mätningar var att prova mätsystemets känslighet genom att variera ett antal förutsättningar såsom beskrivits tidigare i detta avsnitt.

Vid studiens andra etapp gjordes jämförande mätningar mellan borrhålmätning och uttaget prov. Här provades de mätmetoder som beskrivs i RBK-systemets rutiner. Dessa mätningar gjordes på en platta vilken lagrats förseglad under cirka 8 månader före mätningarna. Syftet med dessa mätningar var att visa på eventuella skillnader i resultat mellan de olika mätmetoderna, det vill säga dels mellan borrhålmätning och uttaget prov men dels också mellan de olika givarmodellerna.

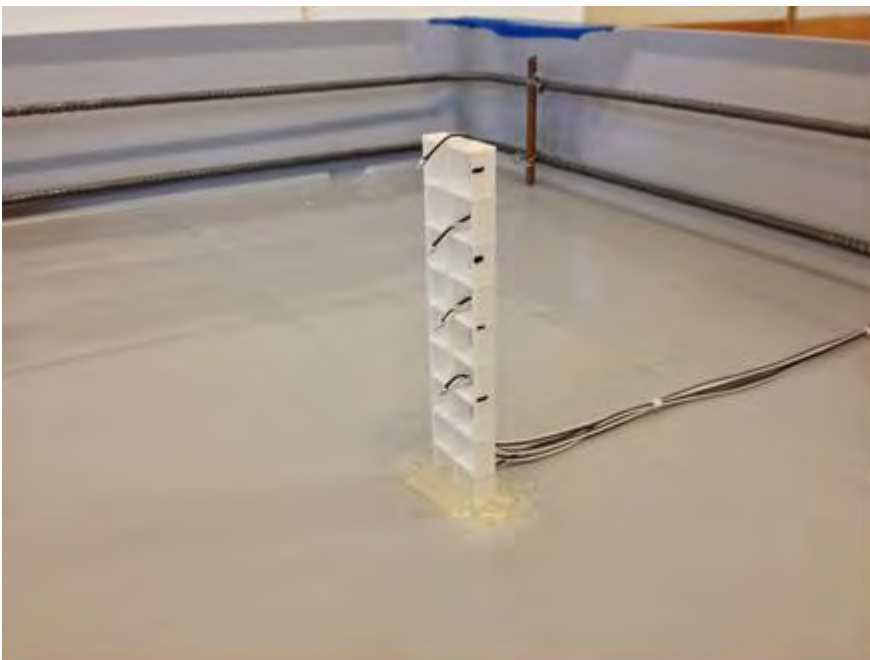
Studiens tredje och slutliga etapp syftade till att undersöka hur temperaturvariationer i omgivningen inverkar på resultaten vid borrhålmätning. Mätningar gjordes i 5 liters förseglade plåtburkar där dessa placerades i klimatskåp under pågående mätningar. Innan givarna monterades lagrades plåtburkarna i två veckor eller två månader. Effekten av att isolera sensorn provades genom att hälften av proven försågs med isolering. Som referens gjordes också mätningar vid konstant temperatur.

2.2.2 Betongtemperatur under härdningsförloppet

För att kunna ha kontroll på betongens temperatur under härdningsförloppet och registrera eventuella avvikelser så placerades termoelement i betongen fördelade över fyra olika djup. I varje platta gjordes temperaturfördelningen invid plattans kant, se Figur 2.11, och vid plattans mittpunkt, se Figur 2.12. För datainsamling så kopplades termoelementen till datalagrare av fabrikat Testo och modell 177-T4 (Nordtec Instrument AB, Göteborg, Sverige).



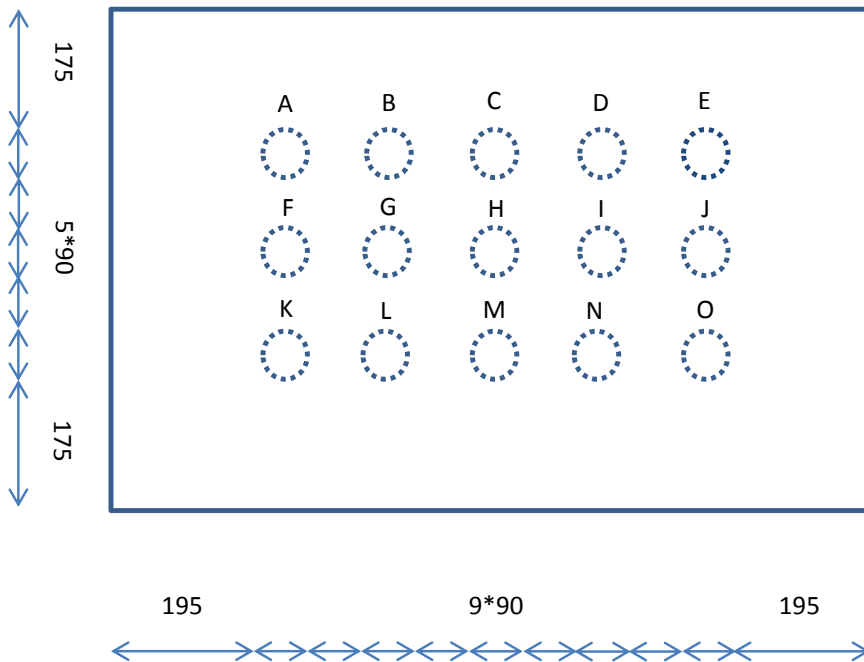
Figur 2.11 Termoelement placerade på armering invid plattans kant för registrering av betongens temperatur på fyra olika djup under härdningsförloppet.



Figur 2.12 Termoelement monterade på hållare av plast, centriskt placerad i formen, för registrering av betongens temperatur på fyra olika djup under härdningsförloppet.

2.2.3 RF-mätning på uttaget prov

Provpunkternas orientering valdes enligt Figur 2.13 så att minsta avstånd till plattans kant var 175 mm och proven togs från djupet 40 % av plattans tjocklek, det vill säga 50-70 mm från ytan. För att få ut en större provmängd valdes provtagningsintervallet 20 mm istället för RBKs anvisning om 15 mm. Detta kunde göras eftersom proven var förseglade under hela lagringsförloppet och därför hade likvärdig fuktnivå på olika djup. Vid provtagningen användes kärnborr med ytterdiameter 90 mm och utförandet var enligt RBKs fuktmätningrutin. All provtagning i en platta genomfördes under en arbetsdag för att undvika att den fuktmängd som förloras vid provtagning i en viss provpunkt skulle hinna påverka närliggande provpunkter.



Figur 2.13 Placering av provpunkter A-O i plattor för uttaget prov.

Vid provtagningsförfarandet samarbetade alltid två provtagare genom att en bilade ut provbitar samtidigt som den andra provtagaren placerade provbitarna i provrör. Vid behov fick vissa av de utbilade proven sönderdelas med hammare för att rymmas i provrören och därefter förseglades provröret med gummikork, se Figur 2.14. Enligt mätningar i Åhs (2014) så hade glasrören som användes här den totala volymen 71 cm³. En representativ provtagningsvolym mättes till 22 cm³ vilket ska jämföras med 15 cm³ som är minsta tillåtna provtagningsvolym enligt RBKs fuktmätningmanual.



Figur 2.14 Uttagna provbitar från respektive djup placeras i glasrör som förseglas med gummikork i väntan på RF-mätning.

RF-mätning på de uttagna proven gjordes med givare av två olika fabrikat, dels Vaisala modell HMP44 (Vaisala Oyj, Helsingfors, Finland) och dels Testo modell 605 H-1 (Nordtec Instrument AB, Göteborg, Sverige). Vid mätningarna med givare av fabrikat Testo ska sensorn skyddas med en kirurgisk tejp enligt RBK-s fuktmätningrutin vilket inte gjordes i denna delstudie. Däremot användes tejp för mätningar som gjordes på plattan med 8 månaders härdning i avsnitt 2.2.6. För merparten av mätningarna med Vaisalagivare så var dessa kopplade till en datoransluten insamlingsenhet vilken möjliggjorde att mätresultaten kunde registreras som funktion av tid. I de fall då mätningar genomfördes i klimat med förhöjd RF, med syfte att undersöka effekten av omgivande RF vid montering av givare, så registrerades RF och temperatur manuellt med avläsningsinstrument av fabrikat Vaisala och modell HMI41 (Vaisala Oyj, Helsingfors, Finland). Testo-givarna kunde inte kopplas till datalagrare men var istället utrustade med display för RF och temperatur vilket gjorde att mätresultaten från dessa givare samlades in genom manuell avläsning.

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 $55 \pm 1\%$. Vid RF-mätning i glasrören på de uttagna proven, se figur 2.15, monterades givarna efter olika lång konditioneringstid beroende av provplanen, se Bilaga. All provtagning gjordes enligt RBK-systemets riktlinjer men när det gäller konditionering av proven inför mätning så gjordes medvetna avsteg med avseende på klimat och varaktighet. Syftet med avstegen var att försöka identifiera känsliga parametrar för mätprincipen uttaget prov.

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.



Figur 2.15 Mätning av relativ fuktighet på uttagna prov placerade i provrör med givare av fabrikat Vaisala HMP44.

2.2.4 Fuktavgång från uttaget prov

Enligt RBKs fuktmättningsmanual tillåts 30 sekunders hanteringstid för varje provbit räknat från att respektive provbit bilats ut till att den placerats i provröret som återförsluts. När provtagning utförs fältmässigt av fuktkontrollant utan medhjälpare så krävs förhållandevis stor skicklighet för att hantera det tidsmässiga kravet. Fuktkontrollanten ska klara flera moment som först innebär att en lagom mängd prov ska bilas ut och därefter krävs ibland att provbitarna sönderdelas för att rymmas i provrör. I ogynnsamma fall bedöms de uttagna provbitarna ha en, i förhållande till omgivningen, tydligt förhöjd temperatur orsakad av borring och bilning med oskarpa verktyg.

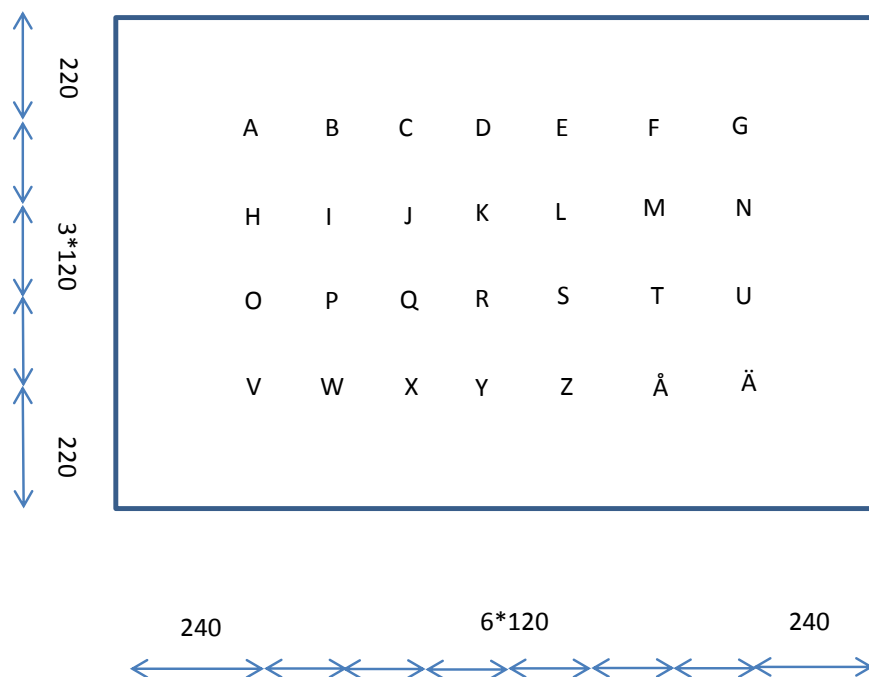
Med detta som bakgrund utformades försök för att mäta mängden fukt som avgår från uttagna prov under realistiskt gynnsamma hanteringsförhållanden. Försöket genomfördes med väl härdade betongprover vilka togs ut från en av provseriens plattor. Vid provtagningen sorterades de minsta provbitarna bort och istället valdes provbitar så att de med minsta möjliga marginal skulle få plats i provrören, se Figur 2.16. Eftersom provrörens innerdiameter var 22 mm så hade merparten av provbitarna största måttet något under 22 mm. Den relativa fuktigheten hos proven var cirka 85 % vid provtagningstillfället och försöket inleddes med att tre provrör fylldes med ungefär 20 cm³ betong vardera. Efter provtagningen konditionerades proven i de tre provrören under 1 dygn i temperaturen 20 °C och därefter flyttades två av provrören till klimatskåp med 7°C respektive 30°C där de konditionerades ytterligare ett dygn. När de tre provrören konditionerats under två dygn, varav det andra dygnet i olika temperaturer, så togs provbitarna ut och placerades på vågen samtidigt som de exponerades för det omgivande klimatet 20°C och 50 % RF. Provbitarna ansågs ha samma temperatur som vid konditioneringen då de placerades på vågen eftersom hanteringen av proven endast tog några sekunder. När proven placerats på vågen registrerades vikten med 10 sekunders intervall och försöket pågick under cirka 3 minuter.



Figur 2.16 Uttagna provbitar placerade på våg för registrering av fuktavgång som funktion av tid och provbitarnas initiala temperatur.

2.2.5 RF-mätning i borrhål

I plattor avsedda för borrhålmätning placerades 28 stycken provpunkter med minsta avståndet 220 mm till plattans kant. Mäthålen var placerade enligt Figur 2.17 och borrades från överytan och ner till 40 % av plattans tjocklek vilket motsvarar djupet 60 mm.



Figur 2.17 Placering av provpunkter A-Ä i plattor för borrhålmätning.

Jämförande mätningar gjordes med givare av fabriken Vaisala (Vaisala Oyj, Helsingfors, Finland), HumiGuard (Nordisk Industrifysik AB, Järfälla, Sverige) och Testo (Nordtec Instrument AB, Göteborg, Sverige). För givarna av fabrikat Vaisala användes modellerna HMP44 och HMP110 där den förstnämnda var en äldre modell som funnits på marknaden under ett antal år och var under utfasning vid tidpunkten för studien medan den senare givaren introducerades som en ersättare. Vid mätningarna med givare av fabrikat Testo så ska sensorn skyddas med en ångpermeabel tejp enligt RBK-s fuktmätningrutin vilket inte gjordes i denna delstudie. De HumiGuard-givare som användes vid försöken tillhörde en uppdaterad serie som introducerades vid årsskiftet 2013/2014 för att ersätta tidigare version. För givare av fabriken Vaisala och HumiGuard så användes handhållna avläsningsinstrument vilka kopplades till givarna. Testo-givarna hade modellbeteckningen 605 H-1 och var försedda med en inbyggd display för momentan avläsning av RF och temperatur. Merparten av mätningarna gjordes enligt beskrivning i RBKs manual för fuktmätning i betong, se RBK [2010]. För vissa av mätningarna gjordes undantag från RBKs rutiner för att prova mätsystemens gränser. Ett exempel på detta är avsteg från föreskriven tid för konditionering från borrning till montering av givare.

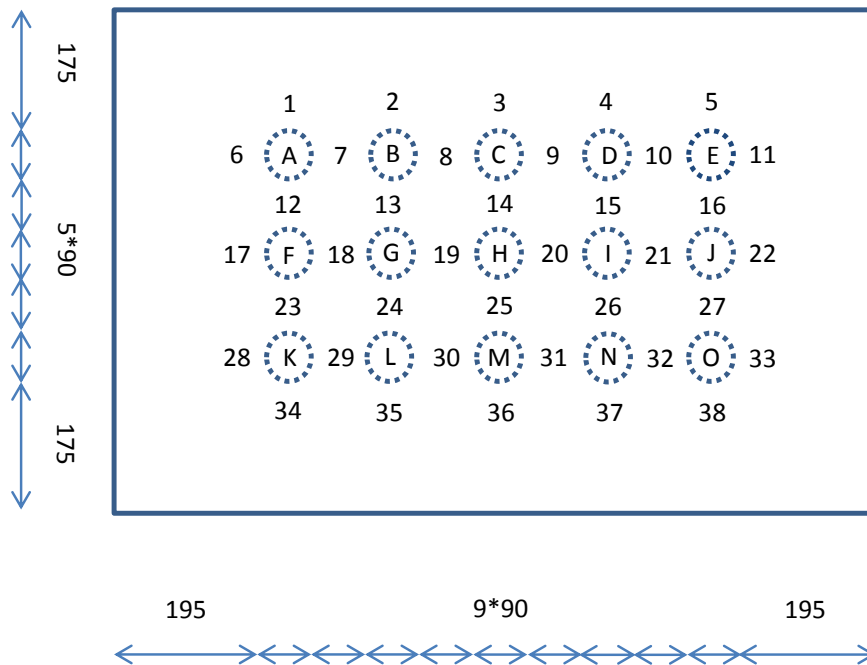
2.2.6 Jämförelse mellan RF-mätning i borrhål och på uttaget prov

Studiens kanske mest avgörande moment var den direkta jämförelsen mellan mätning på uttaget prov respektive mätning i borrhål. För att med säkerhet kunna jämföra mätvärdernas absolutbelopp och exkludera eventuella skillnader i fuktnivå mellan de individuella plattorna, orsakad av avvikelser vid blandning eller bearbetning av betongen, så gjordes dessa mätningar på en och samma platta. Innan mätningarna startades hade plattan lagrats förseglad i klimatrums med temperaturen $20 \pm 1^\circ\text{C}$ under cirka 8 månader. Orsaken till en så pass lång lagringstid var att mätningarna skulle pågå under cirka 4 veckor, från borrning av mäthål till provtagning för uttaget prov, och därför var det av största betydelse att betongens uttorkning med säkerhet stannat av.

Mätningarna inleddes med att borrhål, markerade 1-38 enligt Figur 2.18, borrades till djupet 60 mm och mätrör av plast för respektive variant av givare monterades. Givarna som användes var av fabriken Vaisala, HumiGuard samt Testo och är vidare beskrivna i avsnitt 2.2.5. Vid mätningarna med givare av fabrikat Testo så monterades kirurgisk tejp som skydd över sensorn vilket inte gjordes i de tidigare delstudierna. Före borrningen stansades runda hål i butylduken, vilken utgjorde försegling av plattans övre yta, och hålen hade en något större diameter jämfört med borrhålen. Borrning av mät hålen och montering av mätrören gjordes under en dag och cc avståndet mellan borrhålen var 180 mm och minsta cc avstånd mellan borrhål och plattans kant var 130 mm. Efter att mätrören monterats återställdes plattans försegling genom att butylbaserad tätningsmassa applicerades mellan duken och mätrören. Borrhålmätningarna pågick under cirka 4 veckor och efter att varje enskild mätning avslutats så tätades mätrören med gummikork för att förhindra förlust av fukt från plattan.

När mätningarna i borrhål avslutats så togs de uttagna proven från djupet 50-70 mm. Vid mätningarna på de uttagna proven användes givare av fabriken Vaisala och Testo vilka beskrivs i avsnitt 2.2.3 tillsammans med förfarandet vid mätning. En skillnad i utförande för Testo var att för dessa mätningar demonterades skyddshylsan över sensorn och ersattes med kirurgtejp (Micropore, 3M Svenska AB, Kungälv, Sverige). Merparten av proven placerades i provrör av glas, enligt avsnitt 2.2.3, medan en mindre serie prov placerades i provrör av plast. Båda

varianterna av provrör hade innerdiametern 22 mm och plaströrets totala volym var 57 cm³ och rymde i normalfallet prov med volymen 17 cm³, se Åhs (2014).



Figur 2.18 Placering av provpunkter i platta 15 med både borrhålsmätning och mätning på uttaget prov. Provpunkter för uttagna prov markerade A-O medan provpunkter för borrhålsmätning är markerade 1-38.

2.2.7 RF-mätning i borrhål under pågående temperaturvariationer

Vid försöken mättes RF genom borrhålsmätning i cylindriska prov med höjden 150 mm, se Figur 2.10. Givarna var av fabrikaten Vaisala, HumiGuard samt Testo och för Vaisala så provades en utgående modell HMP44 parallellt med en nyintroducerad med beteckningen HMP110. Vid mätningarna med givare av fabrikat Testo, modellbeteckningen 605 H-1, så försågs sensorn med en skyddande ångpermeabel tejp enligt beskrivning i RBK-s fuktmätningrutin. Se avsnitt 2.2.3 för vidare beskrivning av givarna. Samtliga varianter av försöken gjordes med tre givare förutom i fallet med Vaisala HMP110 där endast två givare fanns tillgängliga vid tidpunkten för försöken. Detta innebär att RF-värden som redovisas i resultatdelen, med undantag för Vaisala HMP110, baseras på medelvärdet av tre individuella mätningar mätt i olika borrhål. I var provkropp borrades tre hål till djupet 60 mm, vilket motsvarade mätdjupet 40 %, och i samband med borrningen monterades plaströr avsedda för respektive fabrikat och variant av givare. Montering av givarna skedde dels då betongen lagrats 2 veckor och dels då den lagrats 2 månader. Provkropparna var förseglade under hela perioden från gjutning och fram till mätningarna avslutades. Före borrningen stansades runda hål i butylduken, vilken utgjorde försegling av provets övre yta, och hålen hade en något större diameter jämfört med borrhålen. Borrning av mät hålen och montering av mätrören gjordes under en dag och cc avståndet mellan borrhålen var cirka 70 mm. Efter att mätrören monterats återställdes provkroppens försegling genom att

butylbaserad tätningsmassa applicerades mellan duken och mätrören. Generell monterades givare av ett visst fabrikat i en viss provkropp.

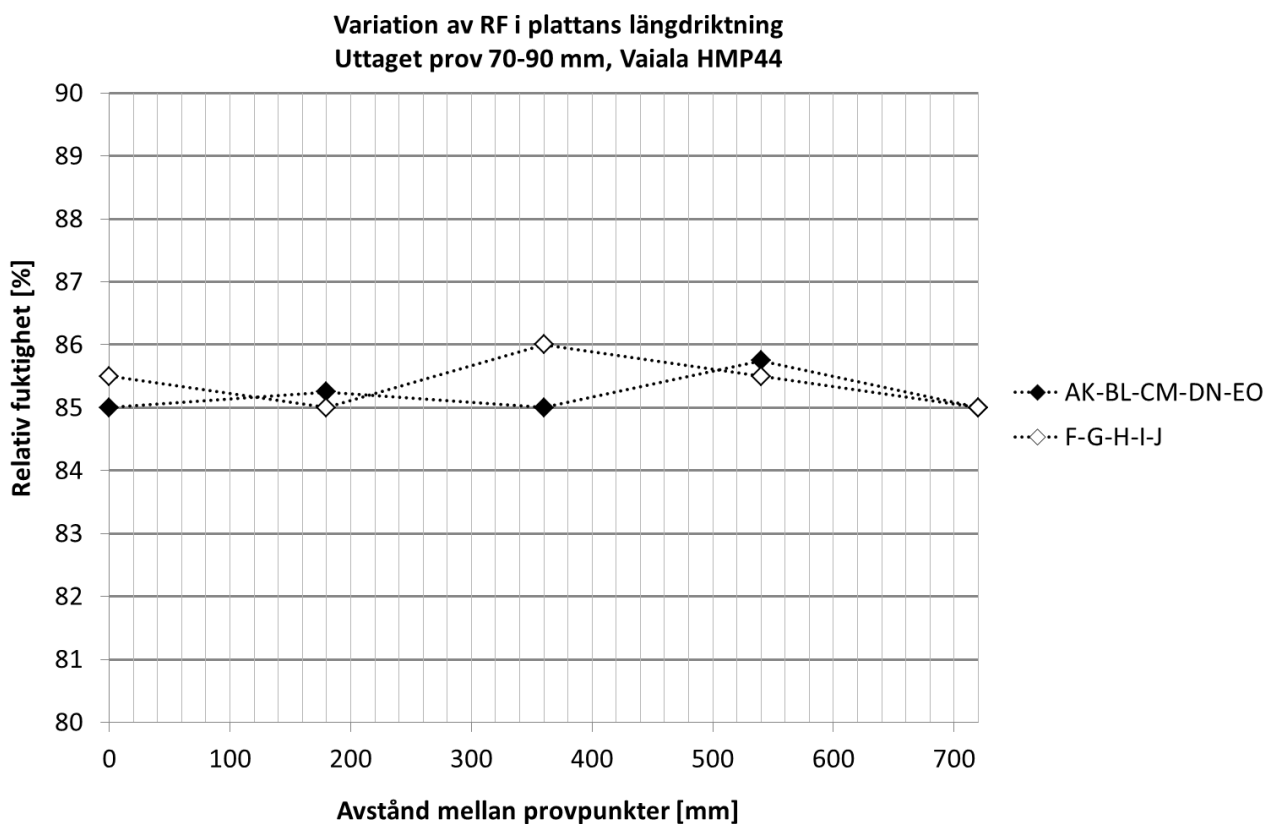
De provproppar som exponerades för en cykliskt varierande omgivningstemperatur under mätperioden försågs med isolering så att temperaturfördelningen skulle överrenstämja med den hos en platta med underliggande värmeisolering. De cylindriska proven placerades därför på en 100 mm tjock skiva av cellplastisolering och provens mantelyta försågs med 100 mm mineralullsisolering för att förhindra värmeflöde i horisontell riktning. För att undersöka om värmeisolering av RF-sensorerna, det vill säga den del som befinner sig utanför betongen, hade en positiv effekt när det gäller att få stabila mätresultat vid temperaturvariationer i betongens omgivning så täcktes hälften av givarna över med 100 mm tjock mineralullsisolering. Alla prov var förseglade så att fuktutbyte med omgivningen förhindrades både under lagringen och under mätperioden.

3 RESULTAT

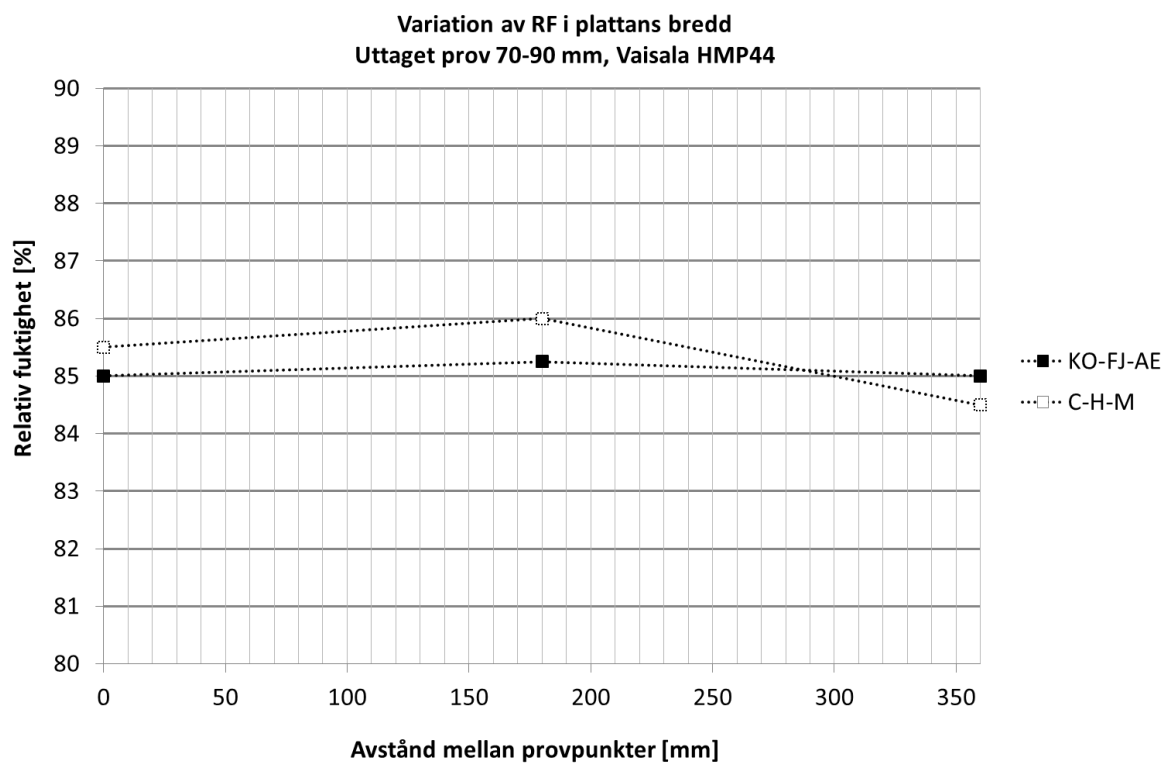
3.1 PLATTOR MED 2 VECKORS LAGRING

3.1.1 RF-variation i en platta mänt med uttaget prov

Exempel på variation av RF mellan olika positioner i en platta visas i figur 3.1 och 3.2. RF-mätningen gjordes på uttagna prov från djupet 70-90 mm, det vill säga 20 mm längre ner än ordinarie provtagningsdjup. Proven för denna undersökning togs ut direkt efter proven från djupet 50-70 mm tagits vilket gjordes när plattan lagrats 2 veckor. I figurerna visas RF för olika provpositioner orienterade i plattans längd- respektive breddriktning. Resultaten uppvisar inga systematiska skillnader i RF för provtagningspunkter som är orienterade nära plattans mitt eller invid dess kanter.



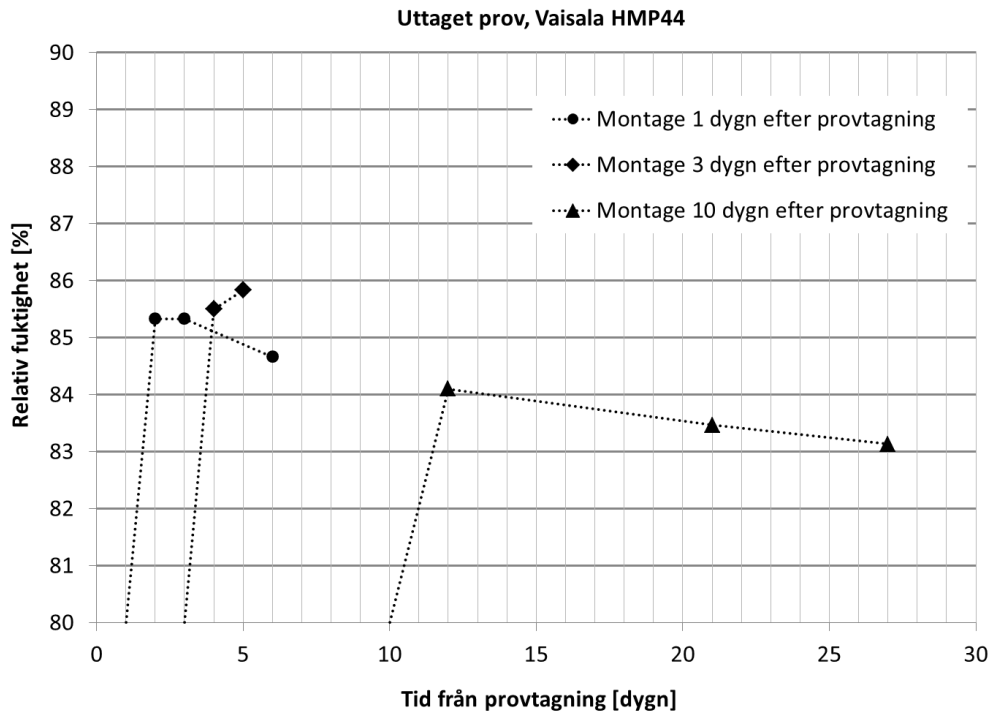
Figur 3.1 Relativ fuktighet på uttaget prov som funktion av provpunkternas placering i platta 1 enligt Bilaga. Fyllda punkter visar parvis medelvärde av provpunkter orienterade närmast långsida och ofyllda punkter representerar enskilda provpunkter längs plattans mitt.



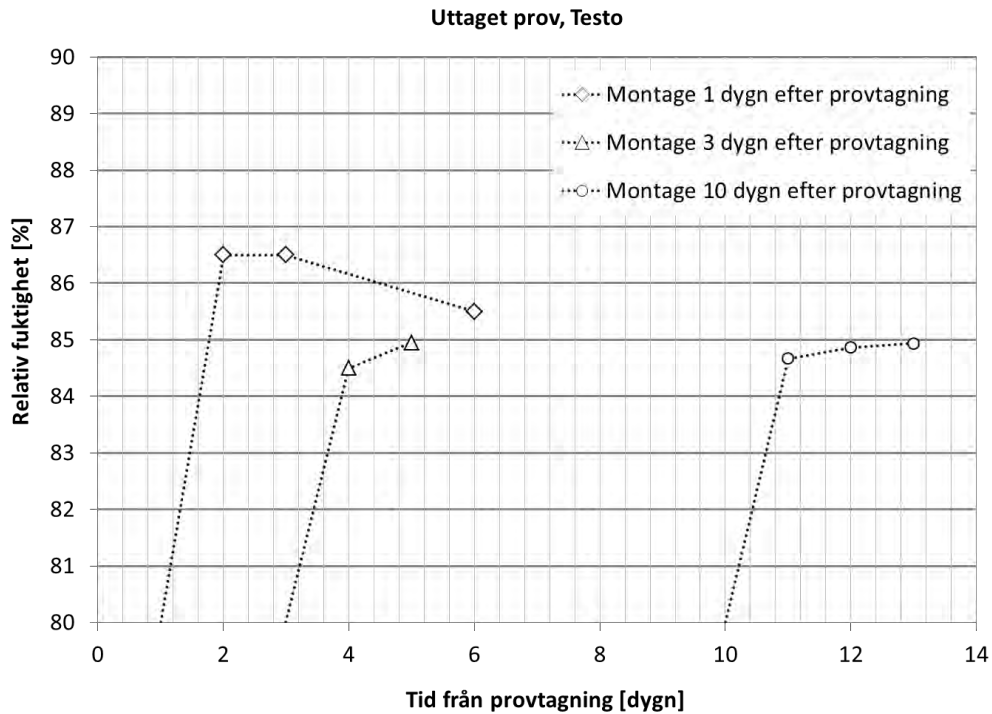
Figur 3.2 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov som funktion av provpunkternas placering i platta 1 enligt Bilaga. Fyllda punkter representerar parvis medelvärde av provpunkter orienterade närmast kortsida och ofyllda punkter representerar enskilda provpunkter längs plattans mitt.

3.1.2 Inverkan av konditioneringstid för uttaget prov

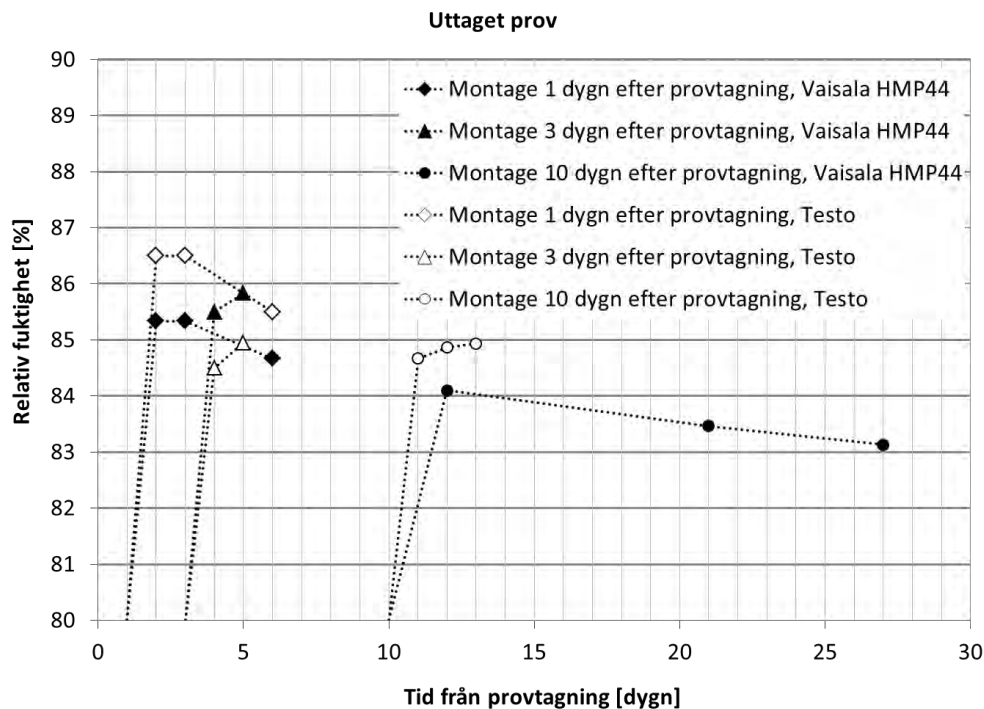
I figurerna 3.3-3.4 visas avläst RF som funktion av tid från provtagning för givare av fabrikat Vaisala respektive Testo. Före givarna monterades tilläts proven konditioneras i förseglade provrör under 1, 3 eller 10 dygn. För att förbättra möjligheterna till jämförelse visas en sammanställning av resultaten från de båda givarfabrikaten i figur 3.5.



Figur 3.3 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov som funktion av konditioneringstid. Mätningen är utförd med Vaisala HMP44 och enskilda punkter representerar medelvärde av tre prov.



Figur 3.4 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov som funktion av konditioneringstid. Mätningen är utförd med Testo och enskilda punkter representerar medelvärde av tre prov

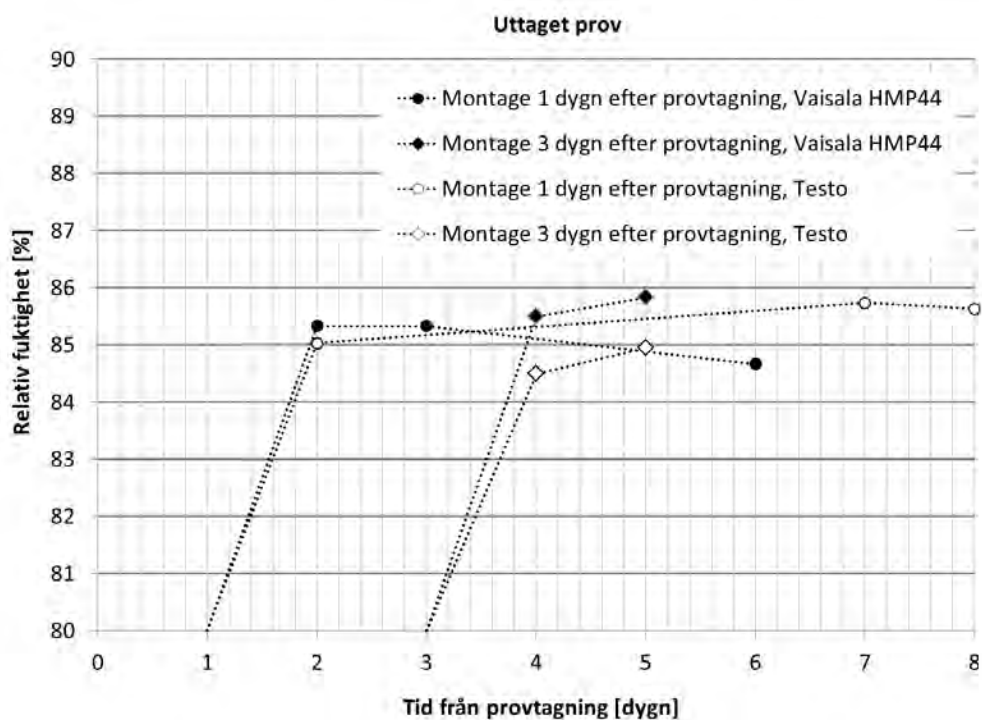


Figur 3.5 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov som funktion av konditioneringstid med två olika sensorer, dels Testo och dels Vaisala HMP44. Enskilda punkter representerar medelvärde av tre prov.

Resultaten i figur 3.3-3.5 indikerar att en kortare konditioneringstid kan ge högre relativ fuktighet då avläsningen görs inom 1-2 dygn efter montering av givaren. Om avläsningen däremot genomförs 3 dygn eller senare från att givaren monterats ger de prov som konditionerats 1 dygn likvärdiga resultat jämfört med de prov som konditionerats i 3 eller 10 dygn.

Eftersom avläsningarna för proven med 3 dygns konditioneringstid gjordes under en förhållandevis kort tid, vilket i viss mån försvårade jämförelsen med de prov som konditionerats i 1 dygn, så upprepades dessa båda mätserier. I figur 3.6 visas resultatet från den upprepade mätserien och dessa mätningar visar inte på något tydligt samband mellan kort konditioneringstid och hög relativ fuktighet utan istället verkar den uppmätta relativa fuktigheten oberoende av konditioneringstid.

Ett flertal av mätserierna, mätta dels med Vaisala och dels med Testo, visade på minskande RF med en ökad mättid. Vid mätningarna med Vaisala observerades RF-minskningen oavsett om givarna avlästes med handavläsningsinstrument eller loggades med Picologger. Därför kan inte loggningsförfarandet då RF-sensorn regelbundet var försedd med elektrisk spänning, och viss värmeutveckling som följd, anses vara orsak till sjunkande RF-nivåer. En trolig orsak är istället att det råder läckage av fukt genom sensorn eller mellan sensorn och gummikorken.



Figur 3.6 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov som funktion av konditioneringstid med två olika sensorer, dels Testo och dels Vaisala HMP44. Enskilda punkter representerar medelvärde av tre prov.

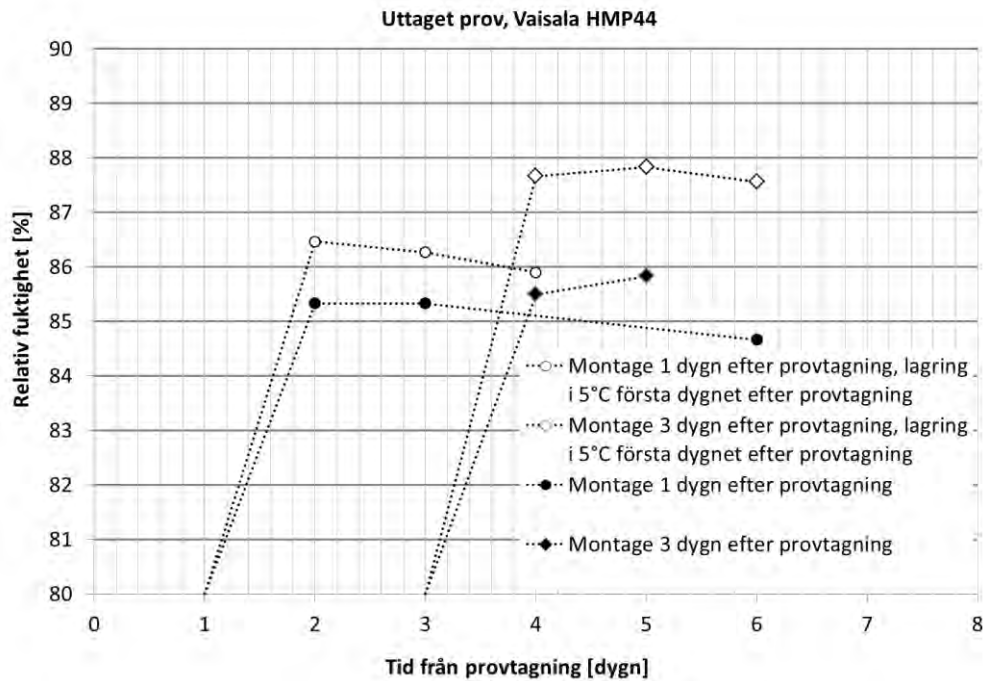
3.1.3 Inverkan av kondens i provrör

I figurerna 3.7-3.8 visas avläst RF för uttagna prov som funktion av tid från provtagning. Direkt efter provtagningen skapades kondens i hälften av provrören och mätningarna gjordes med givare av fabrikat Vaisala och Testo. För de provrör där kondens skapats under konditioneringstiden registrerades något högre RF i de fall då Vaisala-givare användes och då mätningar istället gjordes med Testo-givare registreras emellertid något lägre värden.

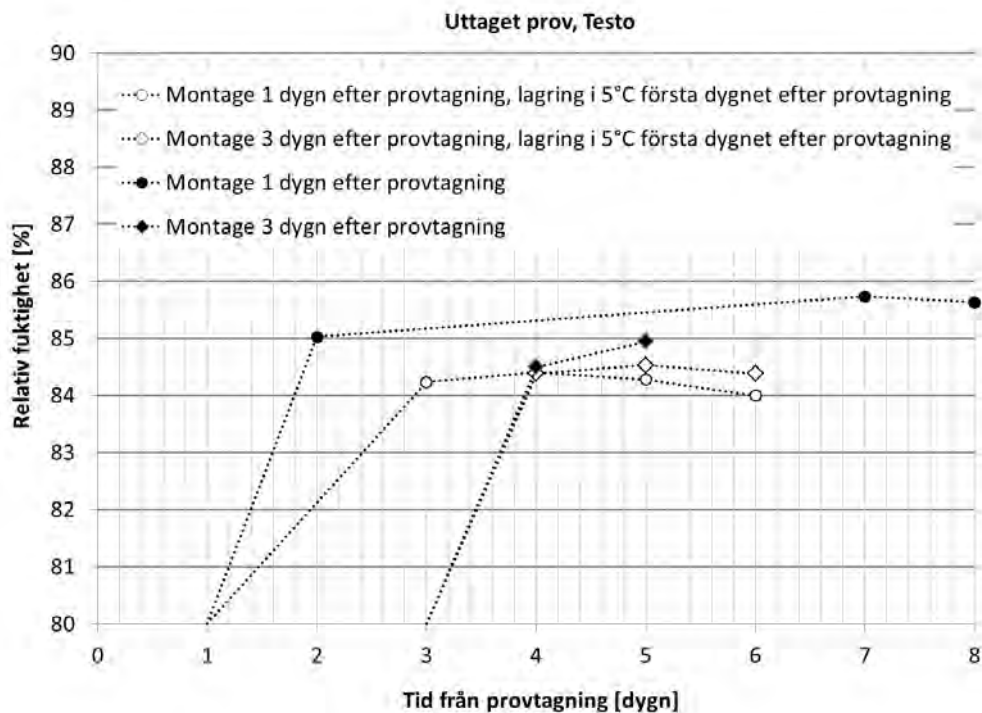
Avvikelse mellan mätresultat från mätningar gjorda med samma givarfabrikat på provrör med respektive utan kondens var cirka ± 1 % RF. Vid jämförelse mellan mätningar gjorda med olika givarfabrikat, det vill säga Vaisala och Testo, på prov med kondens noterades större avvikelse om cirka ± 2 % RF. Mätserierna i Figur 3.7 mätta på provrör där kondens uppträtt visade på stor avvikels gentemot varandra trots att proven togs från samma platta. Att provrör där kondens uppträtt visade högre RF jämfört med provrör utan kondens var förväntat eftersom provbitarna befann sig under uppfuktning när kondensen omfördelades tillbaka från provröret till provbitarna. Eftersom betong har lägre fuktkapacitet vid uppfuktning än vid uttorkning är det förväntat med en högre RF-nivå efter omfördelning. Vid jämförelse mellan de två provserierna med kondens enligt Figur 3.7 noterades att proven med 3 dygns konditioneringstid uppvisade högst RF vilket inte var förväntat. RF-nivån hos dessa prov borde rimligen vara något lägre eller

lika jämfört med de som hade 1 dygns konditioneringstid eftersom de tilläts längre tid för omfördelning.

Med hänsyn till mätresultaten samt de mekanismer som uppkommer vid omfördelning av kondens bedöms uppkomst av kondens ge något förhöjda RF-nivåer även efter flera dagars konditionering i 20 °C.



Figur 3.7 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov som funktion av konditioneringstid. Ofyllda punkter representerar prov som lagrats i 5 °C under första dygnet efter provtagning för att skapa kondens i provrör. Mätningen är utförd med Vaisala HMP44 och enskilda punkter representerar medelvärde av tre prov.

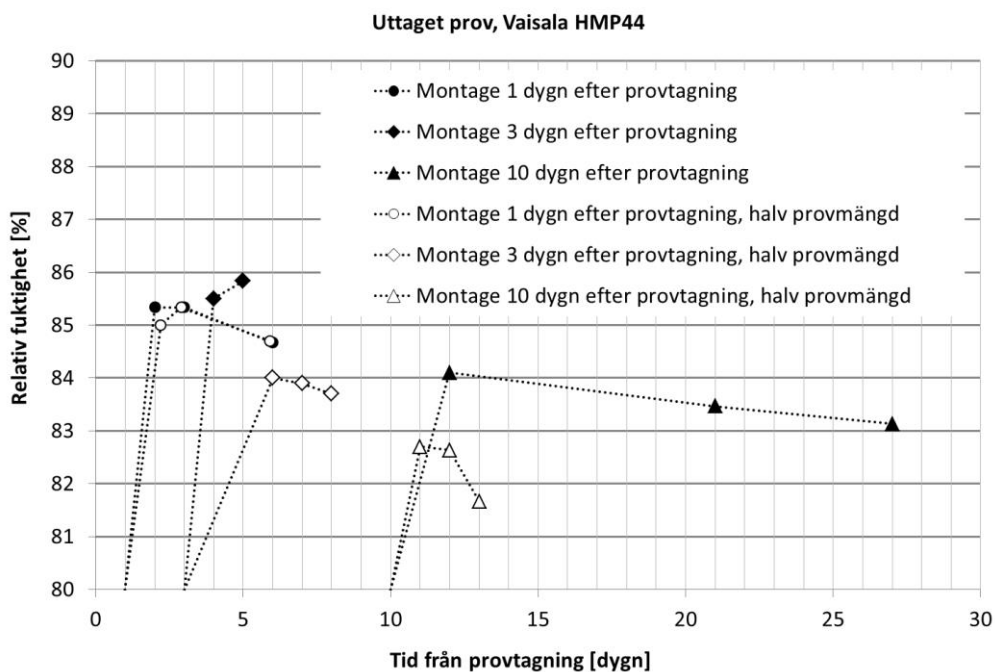


Figur 3.8 Relativ fuktighet som funktion av konditioneringstid mätt med Testo. Ofyllda punkter representerar prov som lagrats i 5 °C under första dygnet efter provtagning för att skapa kondens i provrör.

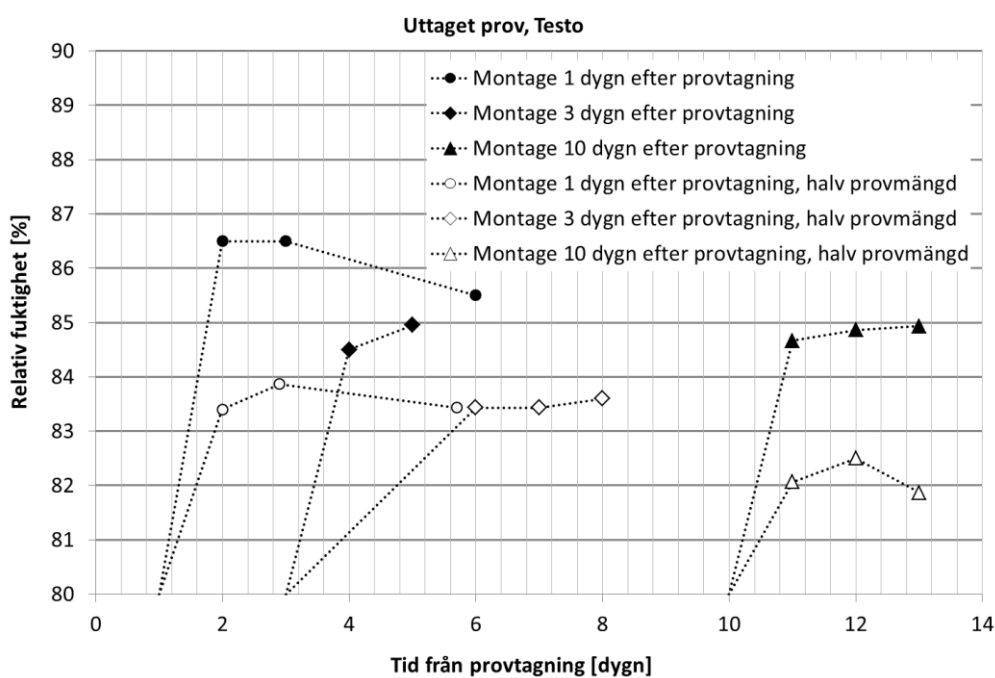
3.1.4 Jämförelse hel/halv provmängd

Inverkan av halv provmängd vid uttaget prov undersöktes genom jämförande mätningar. I figur 3.9-3.10 redovisas resultat från mätningar på uttagna prov placerade i provrör med dels normal provmängd och dels halv provmängd. Mätningarna gjordes med givare av fabrikat Vaisala samt Testo och proven konditionerades 1, 3 eller 10 dygn före mätningarna startades.

Resultat från mätningar gjorda med Vaisla-givare redovisas i figur 3.9 där prov med halv provmängd som konditionerats i 3 och 10 dygn visar 1-2 % lägre RF medan prov som konditionerats i 1 dygn visar lika oavsett provmängd. Mätningarna gjorda med Testo-givare, se figur 3.10, visar att proven med halv provmängd har systematiskt cirka 2 % lägre RF oavsett konditioneringstid.

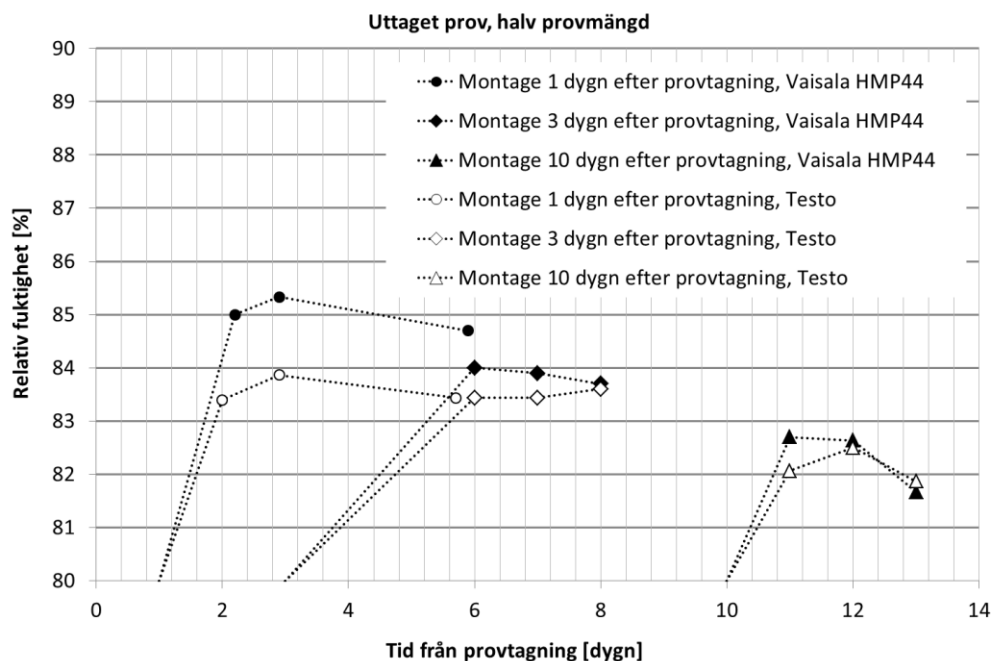


Figur 3.9 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Vaisala HMP44. Fyllda punkter representerar prov med normal provmängd medan ofyllda punkter representerar prov med halv provmängd.



Figur 3.10 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Testo. Fyllda punkter representerar prov med normal provmängd medan ofyllda punkter representerar prov med halv provmängd.

I figur 3.11 visas en sammanställning av mätningarna med halv provmängd och resultaten visar på en god överrensstämmelse där avvikelsen endast uppgår till cirka $\pm 0,6$ % RF.

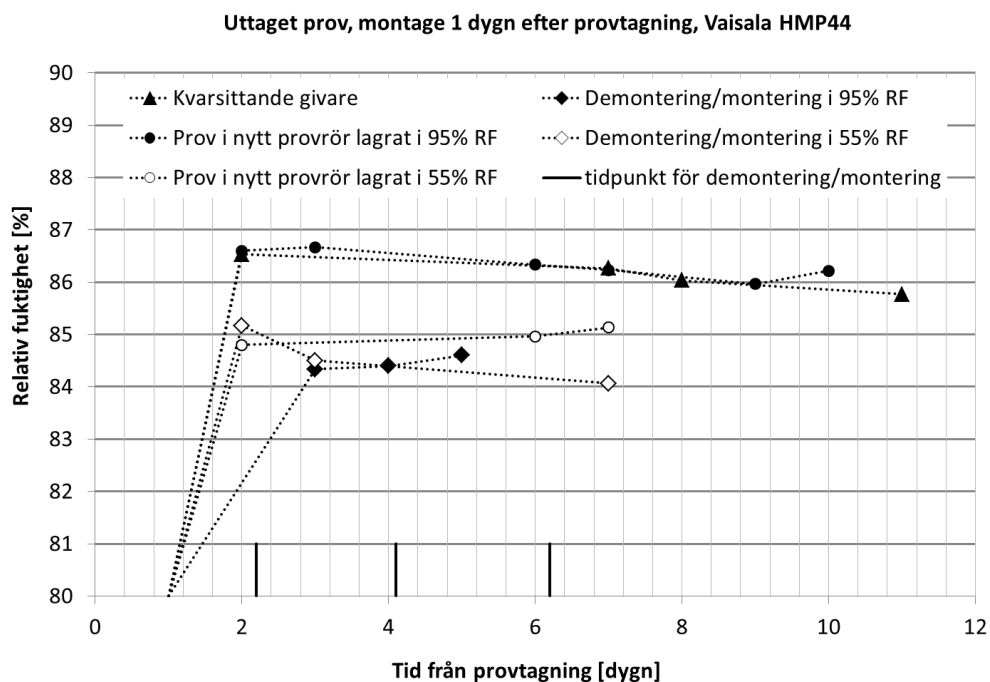


Figur 3.11 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med dels Vaisala HMP44 och dels Testo. Fyllda punkter representerar prov med normal provmängd medan ofyllda punkter representerar prov med halv provmängd.

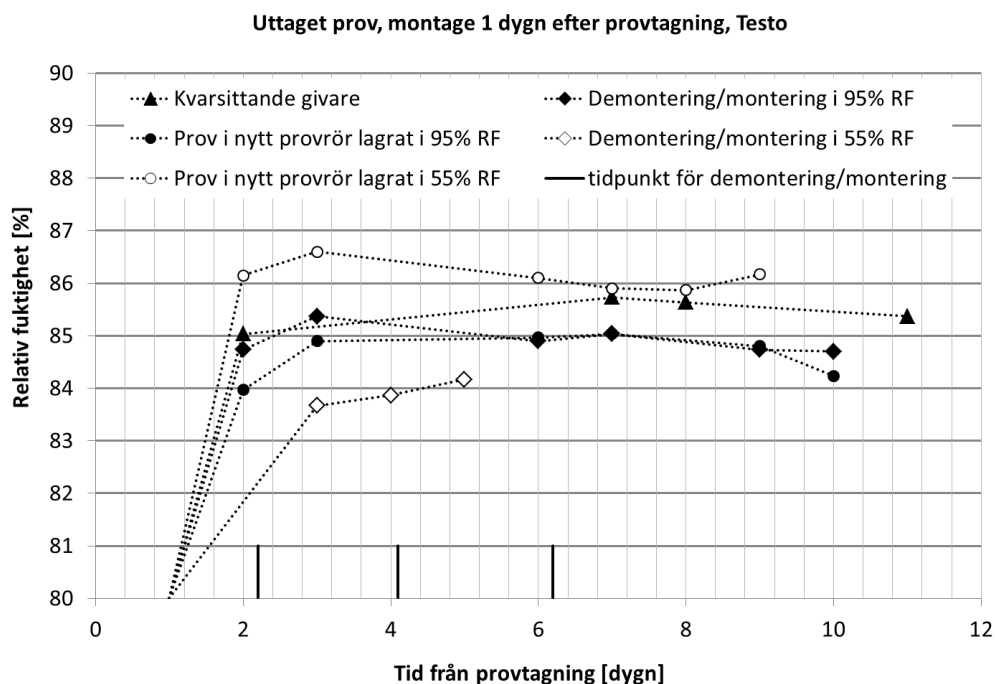
3.1.5 Inverkan av montering/demontering av givare samt flytt av prov till nytt provrör

Resultat i figur 3.12-3.13 visar hur RF-nivån påverkas när givare monteras och demonteras upprepade tillfällen i ett specifikt provrör med oförändrat prov undre hela mätserien. I figurerna visas också resultat från mätserier där prov flyttats till nytt provrör vid upprepade tillfällen där det nya provröret tillåtits konditionering i omgivande klimat. Båda två försöksserierna, det vill säga montering/demontering av givare samt flytt av prov till nytt provrör, genomfördes i två olika omgivande klimat med avseende på relativ fuktighet.

Resultaten visar att spridningen mellan individuella mätningar är cirka $\pm 1,5$ % RF. Denna spridning är markant större än inverkan på RF-nivån när givare dels monteras/demonteras och dels när proven flyttas till nytt provrör. Därför bedöms effekterna av att givare monteras/återmonteras eller att proven hanteras i ett varierande omgivande klimat vara av underordnad betydelse för denna mätserie.



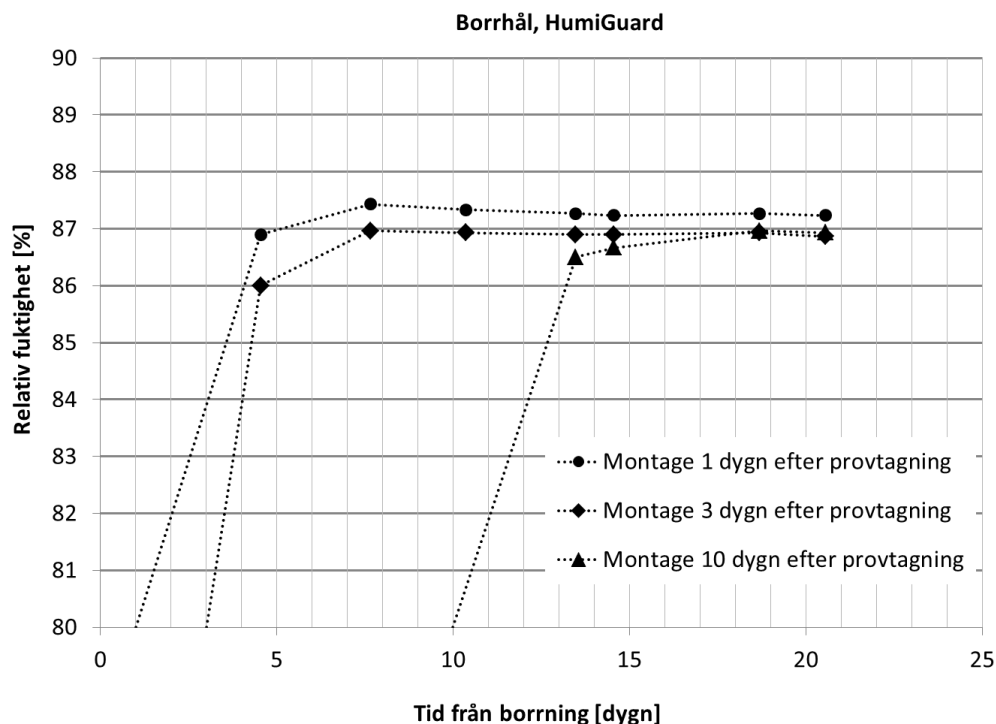
Figur 3.12 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Vaisala HMP44. Fyllda trianglar representerar mätvärden från givare monterad i provrör hela mätperioden medan fyllda cirklar respektive romber representerar prov som flyttats till nytt provrör respektive där givare demonterats/monterats i hög relativ fuktighet. Ofyllda cirklar respektive romber representerar prov som flyttats till nytt provrör respektive där givare demonterats/monterats i låg relativ fuktighet. Vertikala linjer markerar tidpunkt för flytt av prov eller demontering/montering av givare.



Figur 3.13 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Testo. Fyllda trianglar representerar mätvärden från givare monterad i provrör hela mätperioden medan fyllda cirklar respektive romber representerar prov som flyttats till nytt provrör respektive där givare demonterats/monterats i hög relativ fuktighet. Ofyllda cirklar respektive romber representerar prov som flyttats till nytt provrör respektive där givare demonterats/monterats i låg relativ fuktighet. Vertikala linjer markerar tidpunkt för flytt av prov eller demontering/montering av givare.

3.1.6 Inverkan av konditioneringstid för borrhål

Effekten av konditioneringstider före montering av givare vid borrhålmätning undersöktes genom att en serie mätningar där givare av fabrikat HumiGuard monterades efter olika konditioneringstid. Mätresultaten enligt figur 3.14 indikerar att det finns ett systematiskt samband mellan konditioneringstid och RF vilket innebär att en något lägre RF-nivå registreras om sensorn inte monteras direkt vid borrhning såsom RBKs fuktmätningrutin anger.

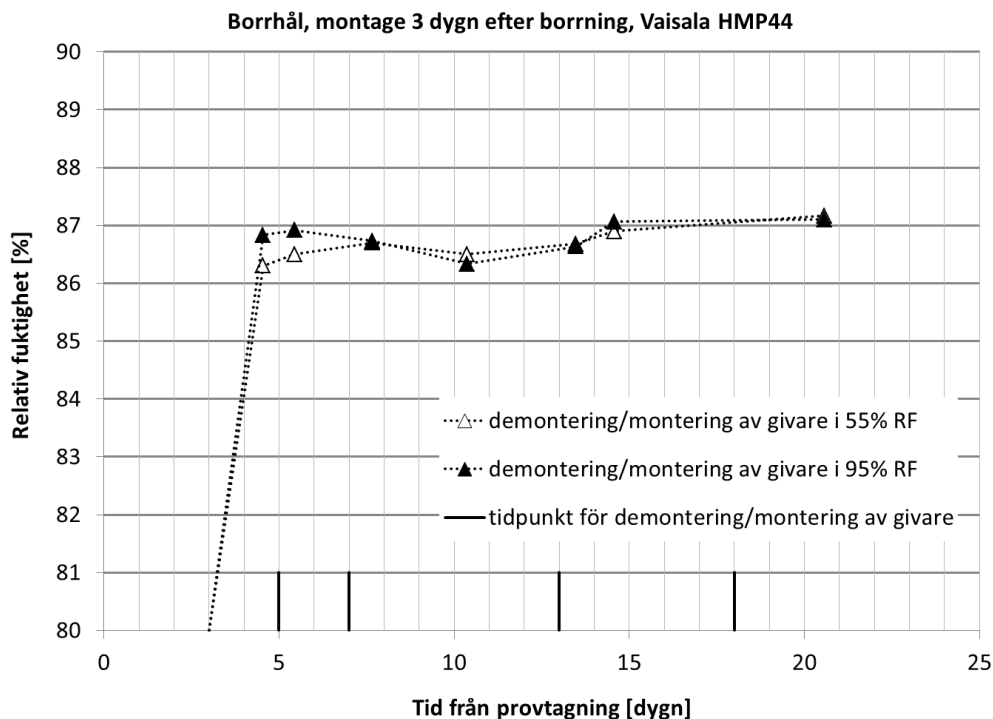


Figur 3.14 Relativ fuktighet mätt i borrhål med HumiGuard med olika varaktigheter för konditionering efter borring.

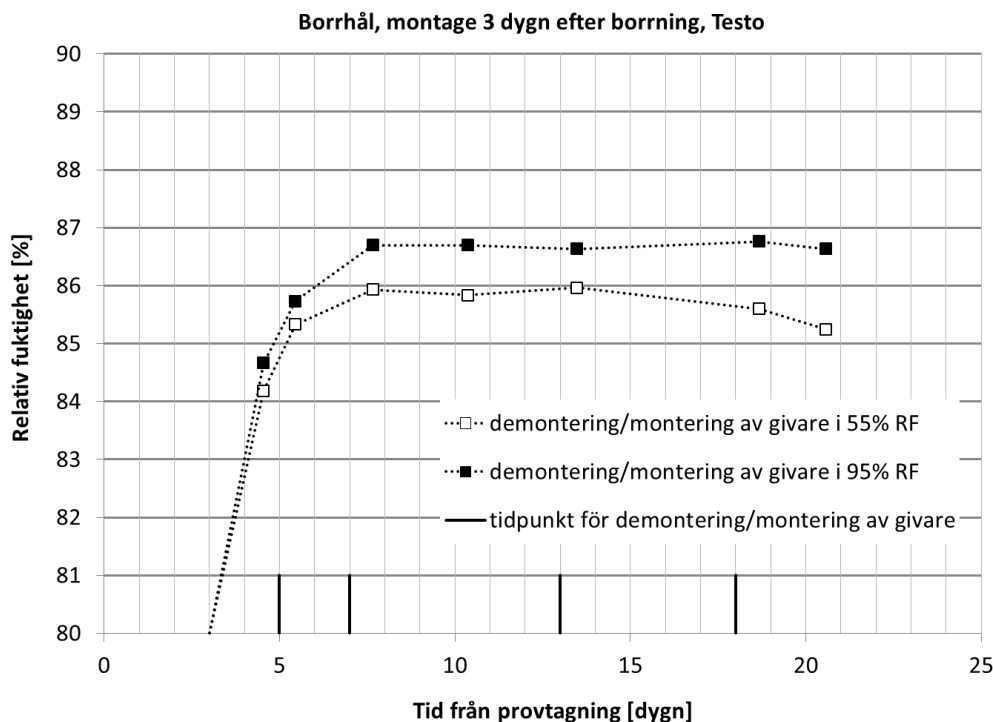
3.1.7 Inverkan av montering/demontering av givare i borrhål

För att kunna klargöra hur fuktkapaciteten hos de olika RF-givarna inverkar på mätresultaten så demonterades och återmonterades givarna under en serie mätningar. Försöken gjordes med givare av fabriken Vaisala, Testo samt HumiGuard och momentet då givarna demonterades och återmonterades gjordes i två olika omgivande RF, ett högre och ett lägre. Efter demontering förslöts provrören omedelbart med gummikork och givarna konditionerades 15 minuter i det omgivande klimatet före de återmonterades i provrören.

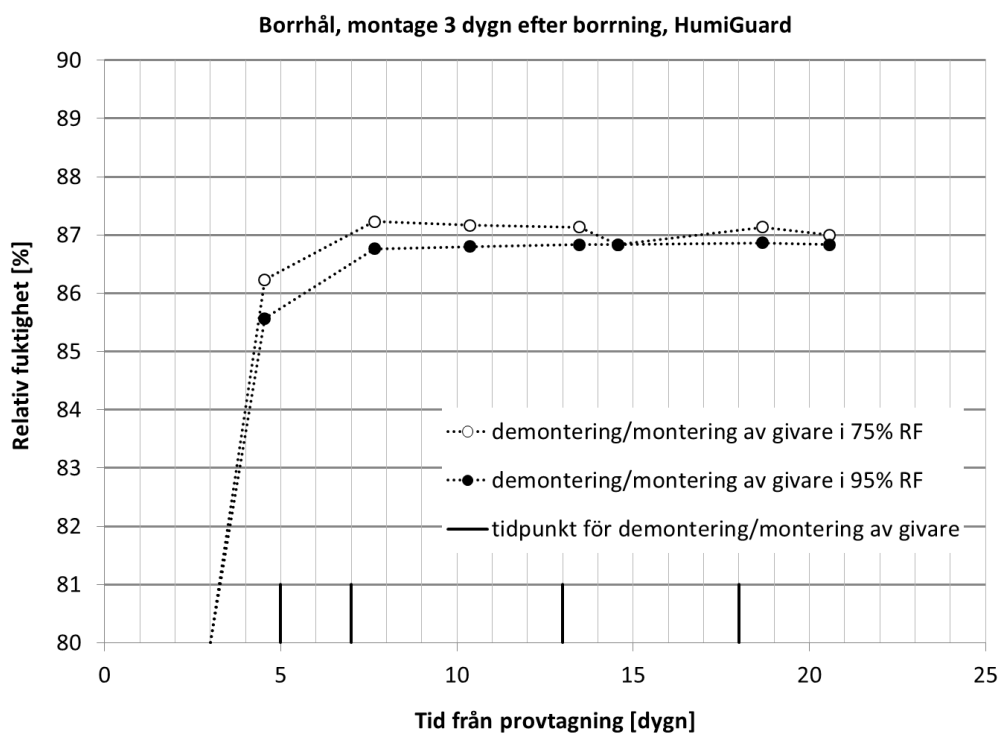
I figur 3.15-3.17 visas resultat från försöken med de olika givarna vilka visas i respektive figur. Vid jämförelse mellan de olika figurerna framgår att det är endast mätningar med givare av fabrikat Testo som påverkas av att givarna demonteras och återmonteras, se figur 3.16. Här framgår att när givarna av fabrikat Testo demonteras och återmonteras under upprepade tillfällen i en omgivning med den lägre RF-nivån så blir betongens uppmätta RF lägre än när samma försök genomförs i en omgivning med den högre RF-nivån.



Figur 3.15 Relativ fuktighet mätt i borrhål med Vaisala HMP44 efter 3 dygns konditionering. Ofyllda respektive fyllda punkter representerar prov där givaren demonteras/monteras i låg respektive hög relativ fuktighet. Vertikala linjer markerar tidpunkt för demontering/montering av givare.

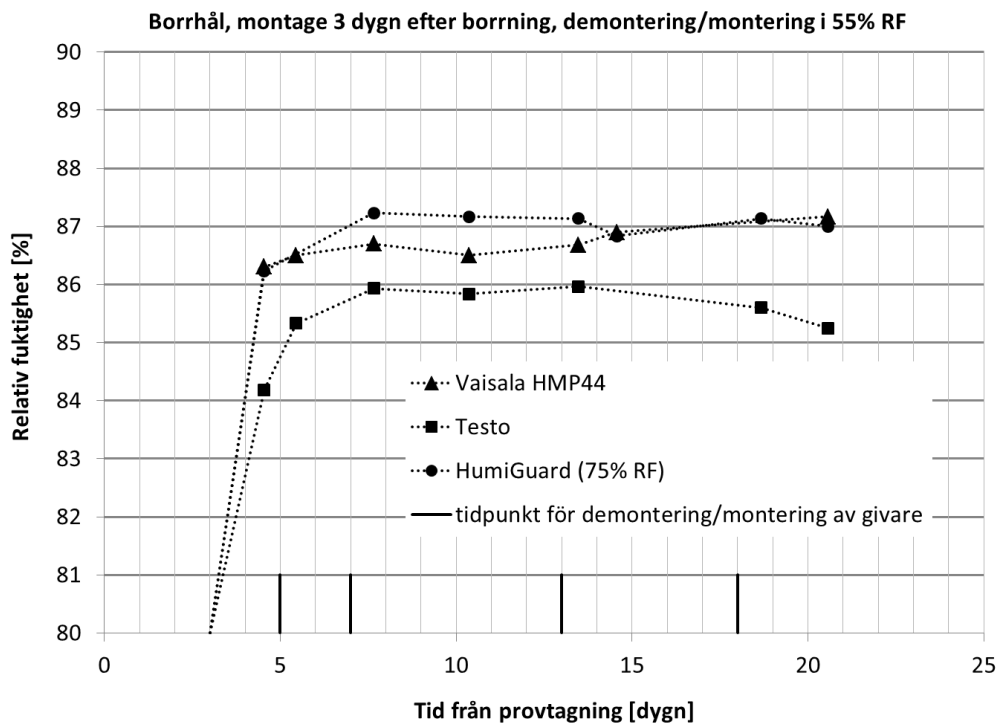


Figur 3.16 Relativ fuktighet mätt i borrhål med Testo efter 3 dygns konditionering. Ofyllda respektive fyllda punkter representerar prov där givaren demonteras/monteras i låg respektive hög relativ fuktighet. Vertikala linjer markerar tidpunkt för demontering/montering av givare.

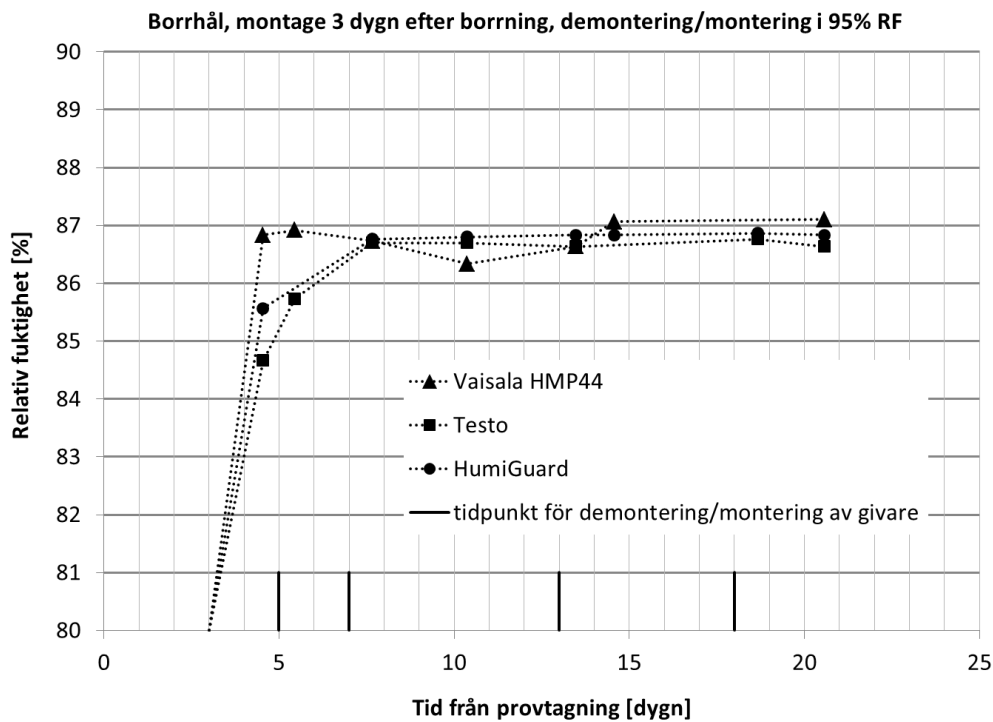


Figur 3.17 Relativ fuktighet mätt i borrhål med HumiGuard efter 3 dygns konditionering. Ofyllda respektive fyllda punkter representerar prov där givaren demonterats/monterats i låg respektive hög relativ fuktighet. Vertikala linjer markerar tidpunkt för demontering/montering av givare.

I figurerna 3.18-3.19 redovisas en sammanställning av mätresultat från de tre olika givarna när demontering och återmontering av givarna genomfördes i omgivningen med låg respektive hög RF-nivå. Mätresultaten visar generellt att den avlästa RF-nivån är likvärdig för alla varianter utom när mätning görs med givare av fabrikat Testo då givaren demonterades och återmonterades i en omgivning med låg RF (50 %). Denna mätning resulterade i cirka 1 % lägre RF än övriga jämförbara mätningar. Eftersom mätningen redan före första tillfället för demontering och montering visade en låg RF-nivå så bedöms avvikelser till huvudsak vara orsakade av skillnader mellan olika provpunkter. Förlusten av fukt från givaren bedöms därför endast marginellt bidra till avvikelserna.



Figur 3.18 Jämförelse mellan relativ fuktighet mätt med Vaisala HMP44, Testo och HumiGuard efter 3 dygns konditionering. Givaren har demonterats/monterats i låg relativ fuktighet. Vertikala linjer markerar tidpunkt för demontering/montering av givare.

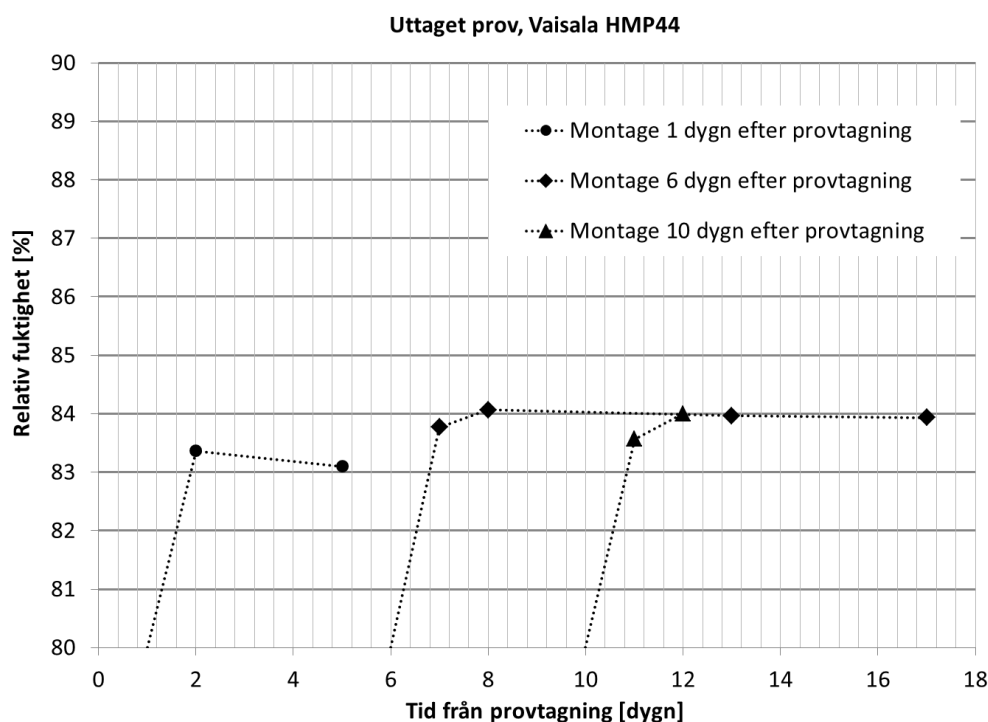


Figur 3.19 Jämförelse mellan relativ fuktighet mätt med Vaisala HMP44, Testo och HumiGuard efter 3 dygns konditionering. Givarna har demonterats/monterats i hög relativ fuktighet. Vertikala linjer markerar tidpunkt för demontering/montering av givare.

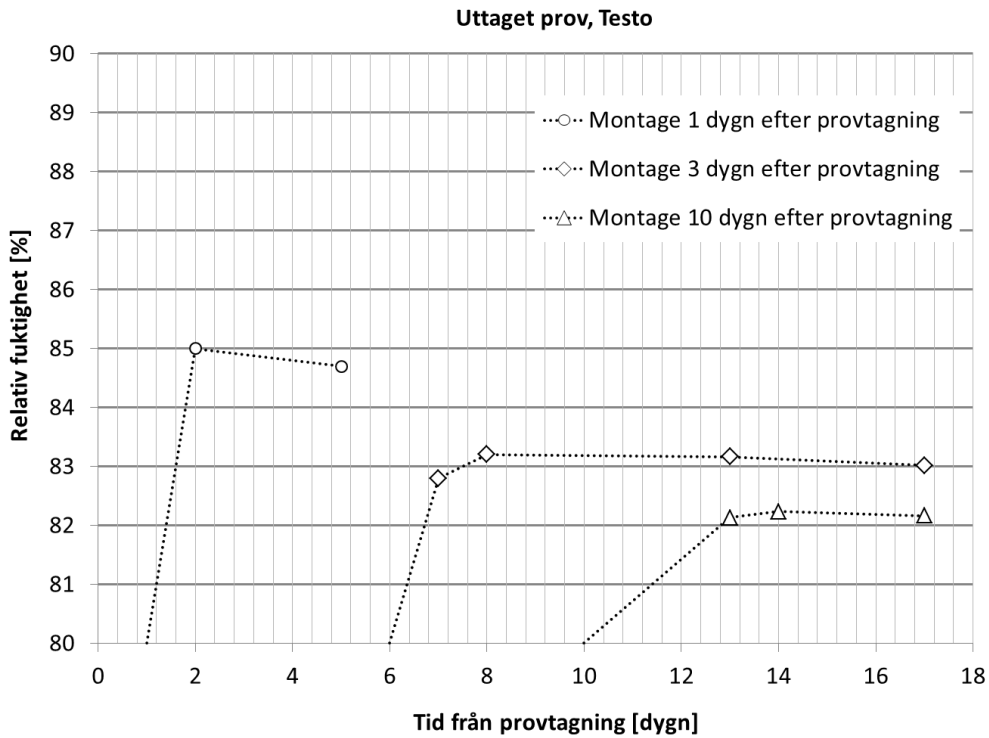
3.2 PLATTOR MED 2 MÅNADERS LAGRING

3.2.1 Varierande konditioneringstid för uttaget prov

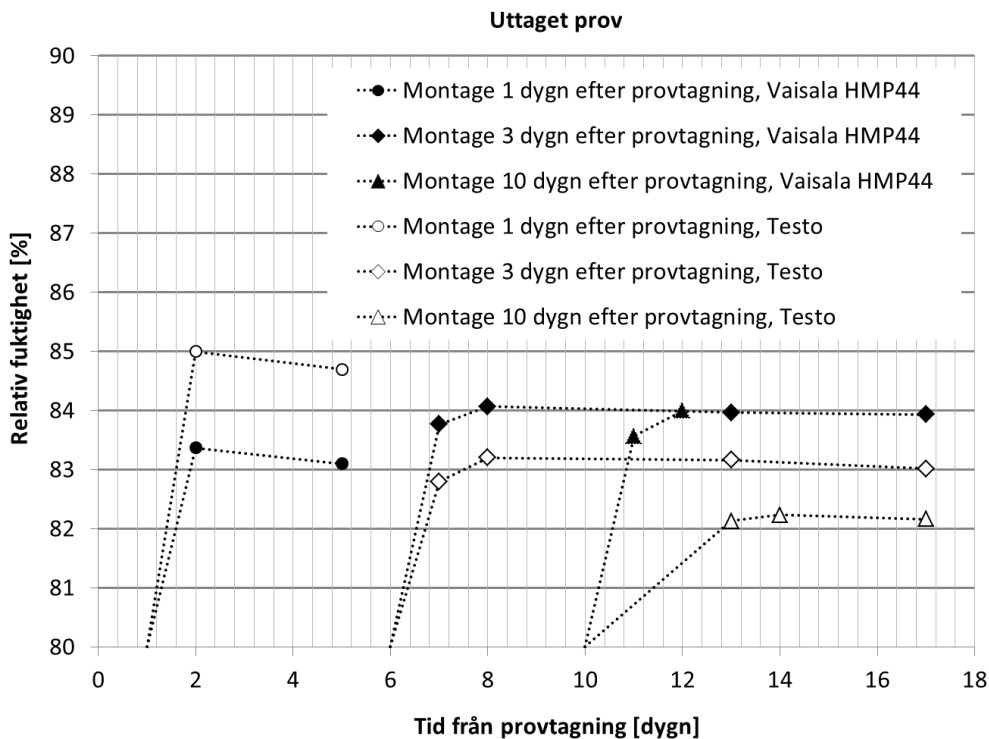
Inverkan av konditioneringstidens längd undersöktes genom att mätningar på uttagna prov utfördes med givare av fabrikat Vaisala och Testo. Innan givarna monterades konditionerades proverna i 1, 6 eller 10 dygn. Enligt resultaten i figur 3.20-3.22 inverkade konditioneringstiden olika beroende av givarfabrikat. För mätningar som gjordes med Vaisala ökade den avlästa RF-nivån något med en ökad konditioneringstid, se figur 3.20, medan mätningarna gjorda med givare av fabrikat Testo uppvisade ett motsatt beteende, se figur 3.21. I figuren 3.22, där resultat från de båda mätserierna presenteras, visas skillnaderna tydligt mellan mätserierna. Vid jämförelse av RF-nivåernas max- och minvärden för alla serier i figur 3.20-3.22 visar att spridningen understiger $\pm 1,5$ % RF vilket kan anses vara en rimligt förväntad avvikelse mellan prov uttagna från olika mätpunkter.



Figur 3.20 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Vaisala HMP44 med tre olika konditioneringstider efter provtagning.



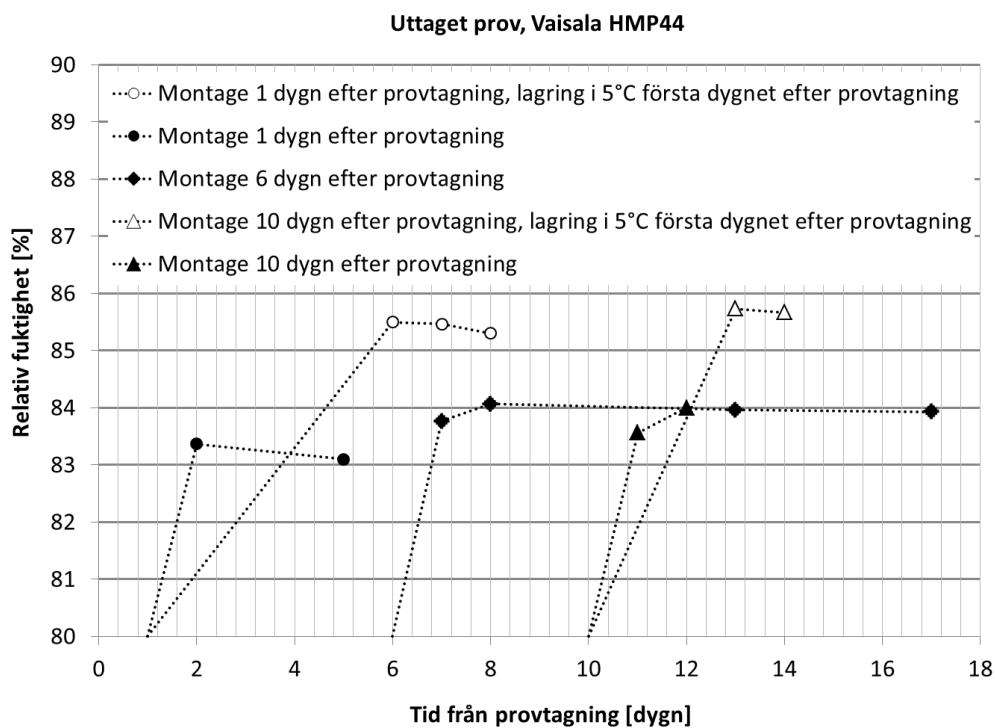
Figur 3.21 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Testo med tre olika konditioneringstider efter provtagning.



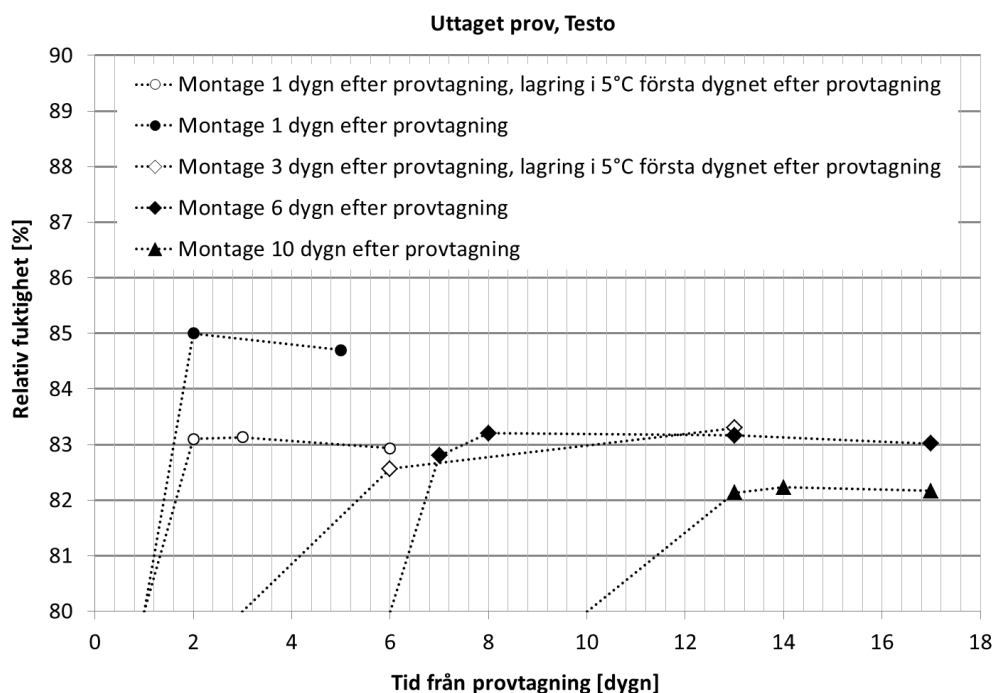
Figur 3.22 Jämförelse mellan relativ fuktighet mätt med Vaisala HMP44 och Testo med tre olika varaktigheter för konditionering efter provtagning.

3.2.2 Inverkan av kondens i provrör

I figurerna 3.23-3.24 visas avläst RF för uttagna prov som funktion av tid från provtagning. Direkt efter provtagningen skapades kondens i hälften av provrören och mätningarna gjordes med givare av fabrikat Vaisala och Testo. För de provrör med kondens registrerades cirka 2 % högre RF oavsett konditioneringstid i de fall då Vaisala-givare användes. För mätning med Testo-givare registreras emellertid lägre värde för provrör med kondens men observationen kan inte anses ge tydlig slutsats eftersom jämförande resultat med/utan kondens endast registrerades vid 1 dygns konditioneringstid. Dessa resultat överensstämmer väl med resultaten från motsvarande försök i avsnitt 3.1.3 genomförda på betong med 2-veckors lagring.



Figur 3.23 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Vaisla HMP44 som funktion av konditioneringstid. Ofyllda punkter representerar prov som lagrats i 5 °C under första dygnet efter provtagning för att skapa kondens i provrör.

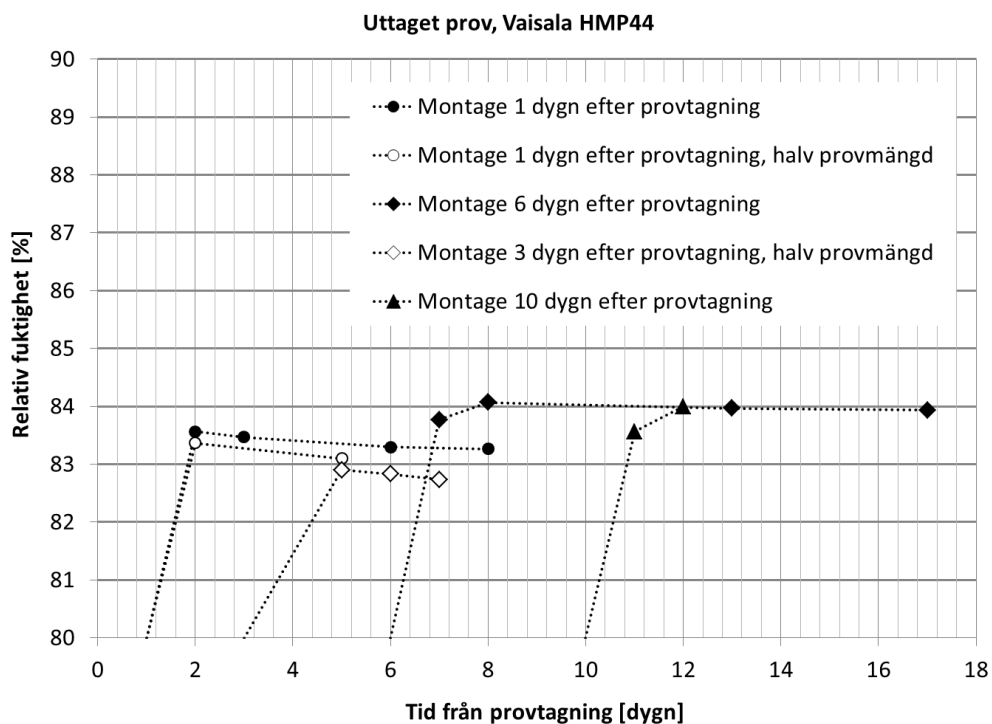


Figur 3.24 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Testo som funktion av konditioneringstid. Ofyllda punkter representerar prov som lagrats i 5 °C under första dygnet efter provtagning för att skapa kondens i provrör.

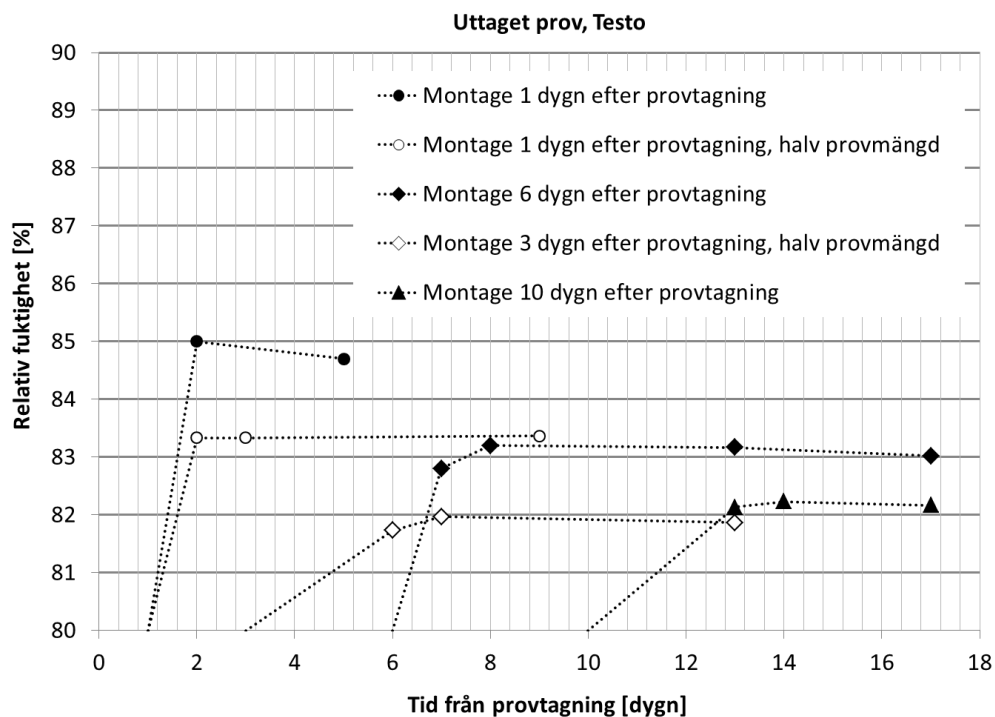
3.2.3 Jämförelse hel/halv provmängd

På samma sätt som för tvåveckorsplattorna undersöktes inverkan av halv provmängd vid uttaget prov genom jämförande mätningar. I figur 3.25-3.26 redovisas resultat från mätningar på uttagna prov placerade i provrör med dels normal provmängd och dels halv provmängd. Mätningarna gjordes med givare av fabrikat Vaisala samt Testo och proven konditionerades för tvåmånadersplattorna i 1, 3, 6 eller 10 dygn före mätningarna startades.

Resultat från mätningar gjorda med Vaisala-givare redovisas i figur 3.25 där prov med halv provmängd som konditionerats i 3 dygn visar cirka 1 % lägre RF, jämfört med förväntat värde för prov med hel provmängd, medan prov som konditionerats i 1 dygn visar lika oavsett provmängd. Mätningarna gjorda med Testo-givare, se figur 3.26, visar att proven med halv provmängd har systematiskt cirka 1-2 % lägre RF oavsett konditioneringstid.



Figur 3.25 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Vaisala HMP44 som funktion av konditioneringstid. Fyllda punkter representerar prov med normal provmängd medan ofyllda punkter representerar prov med halv provmängd.

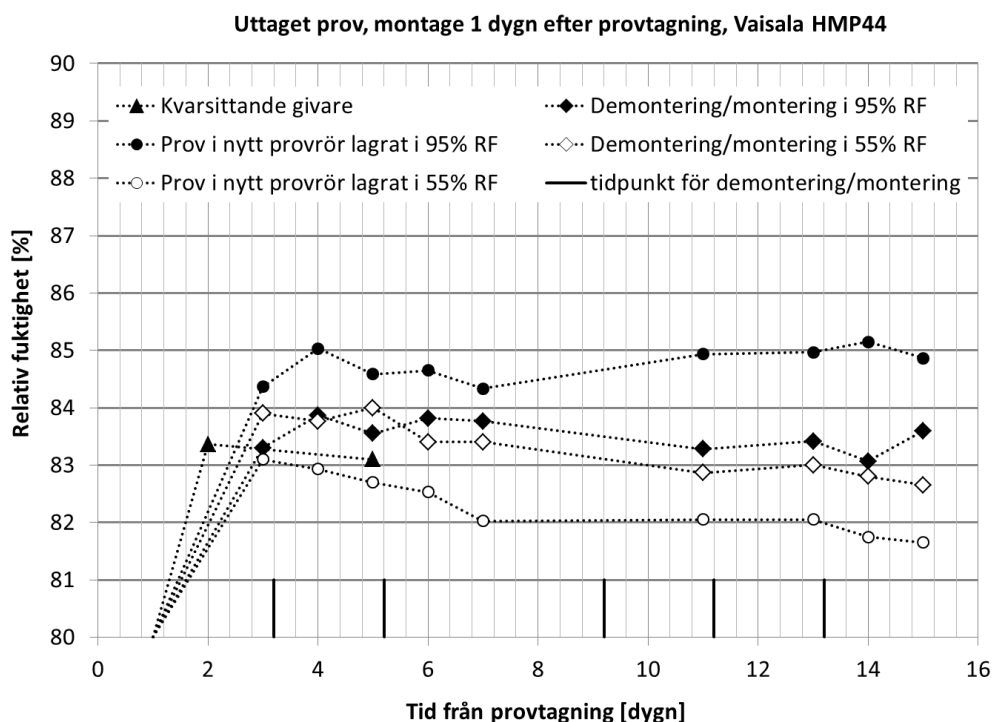


Figur 3.26 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Testo som funktion av konditioneringstid. Fyllda punkter representerar prov med normal provmängd medan ofyllda punkter representerar prov med halv provmängd.

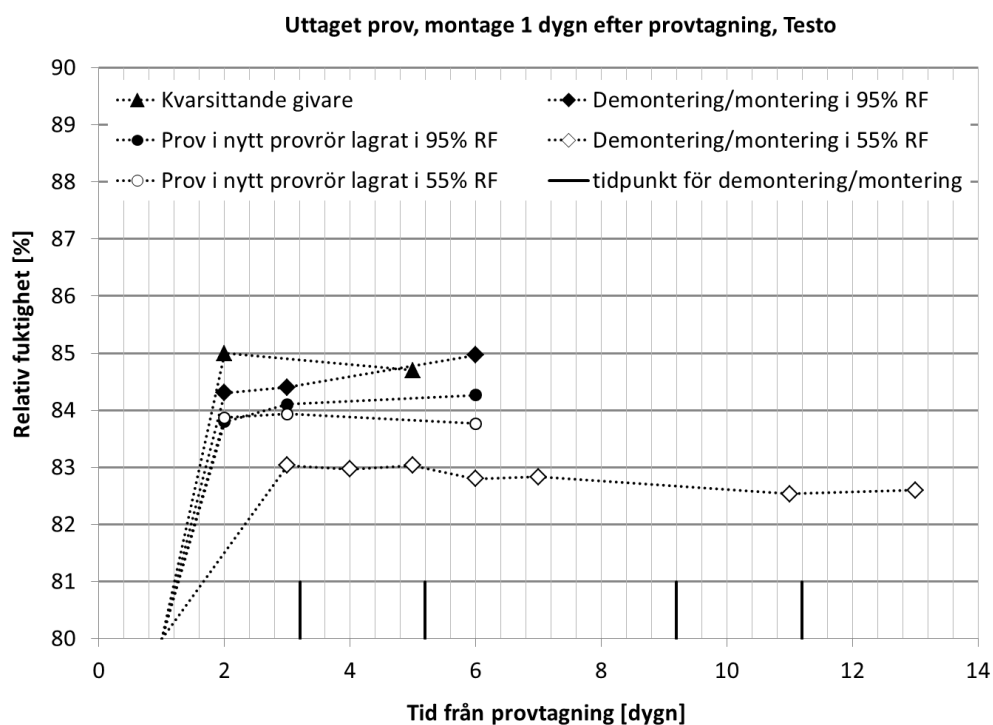
3.2.4 Inverkan av montering/demontering av givare samt flytt av prov till nytt provrör

Resultat i figur 3.27-3.28 visar hur RF-nivån påverkas när givare monteras och demonteras upprepade tillfällen i ett specifikt provrör med oförändrat prov undre hela mätserien. I figurerna visas också resultat från mätserier där prov flyttats till nytt provrör vid upprepade tillfällen där det nya provröret tillåtits konditionering i omgivande klimat. Båda två försöksserierna, det vill säga montering/demontering av givare samt flytt av prov till nytt provrör, genomfördes i två olika omgivande klimat med avseende på relativ fuktighet. Förfarandet vid montering/demontering av givare startade med att givaren demonterades och provröret försågs med gummikork medan givaren konditionerades 15 minuter i omgivande klimat för att därefter återmonteras i provröret.

Den andra försöksvarianten när effekten av att prov flyttades till nytt provrör genomfördes mycket snabbt och i en följd. Givaren demonterades varpå proven hälldes över i tomt provrör som lagrats oförslutet under minst ett dygn i det aktuella klimatet och omedelbart efter proven flyttats återmonterades givaren i det nya provröret. Resultaten, både för Vaisala och Test, visade på minskande RF hos proven när försöken genomförs i omgivning med den lägre RF-nivån. Minskningen var förhållandevis liten jämfört med spridningen mellan individuella mätningar som var cirka $\pm 1,5$ % RF. Spridning var markant större än inverkan på RF-nivån när givare dels monteras/demonteras och dels när proven flyttas till nytt provrör. Därför bedöms effekterna av att givare monteras/återmonteras eller att proven hanteras i ett varierande omgivande klimat vara av underordnad betydelse.



Figur 3.27 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Vaisala HMP44. Fyllda trianglar representerar mätvärden från givare monterad i provrör hela mätperioden medan fyllda cirklar respektive romber representerar prov som flyttats till nytt provrör respektive där givare demonterats/monterats i hög relativ fuktighet. Ofyllda cirklar respektive romber representerar prov som flyttats till nytt provrör respektive där givare demonterats/monterats i låg relativ fuktighet. Vertikala linjer markerar tidpunkt för flytt av prov eller demontering/montering av givare.



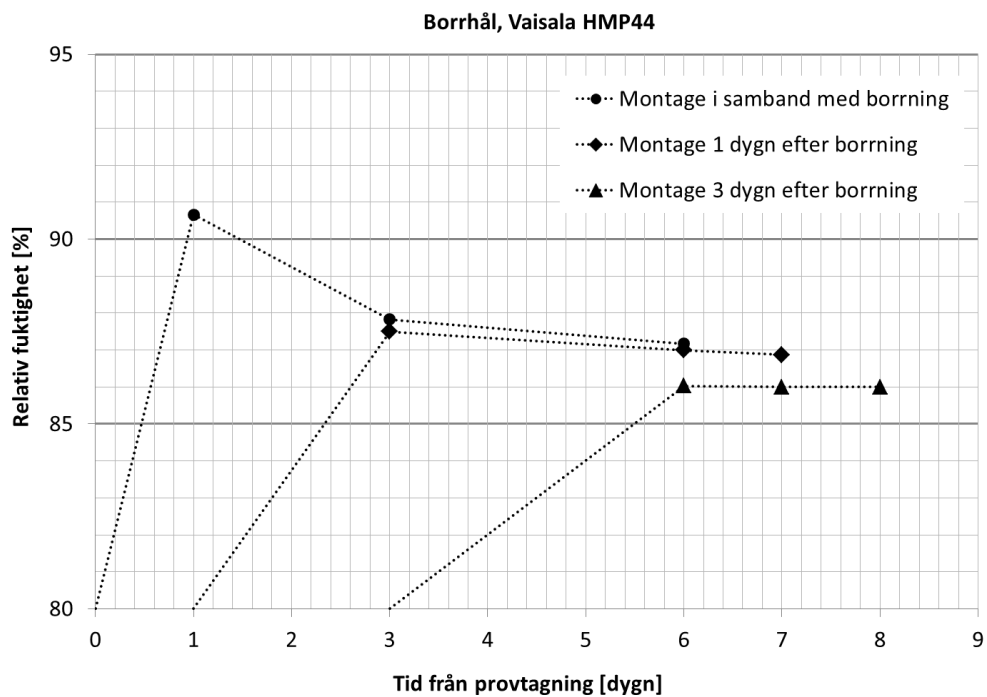
Figur 3.28 Relativ fuktighet mätt på uttaget prov med Testo. Fyllda trianglar representerar mätvärden från givare monterad i provrör hela mätperioden medan fyllda cirklar respektive romber representerar prov som flyttats till nytt provrör respektive där givare demonterats/monterats i hög relativ fuktighet. Ofyllda cirklar respektive romber representerar prov som flyttats till nytt provrör respektive där givare demonterats/monterats i låg relativ fuktighet. Vertikala linjer markerar tidpunkt för flytt av prov eller demontering/montering av givare.

3.2.5 Inverkan av konditioneringstid för borrhål

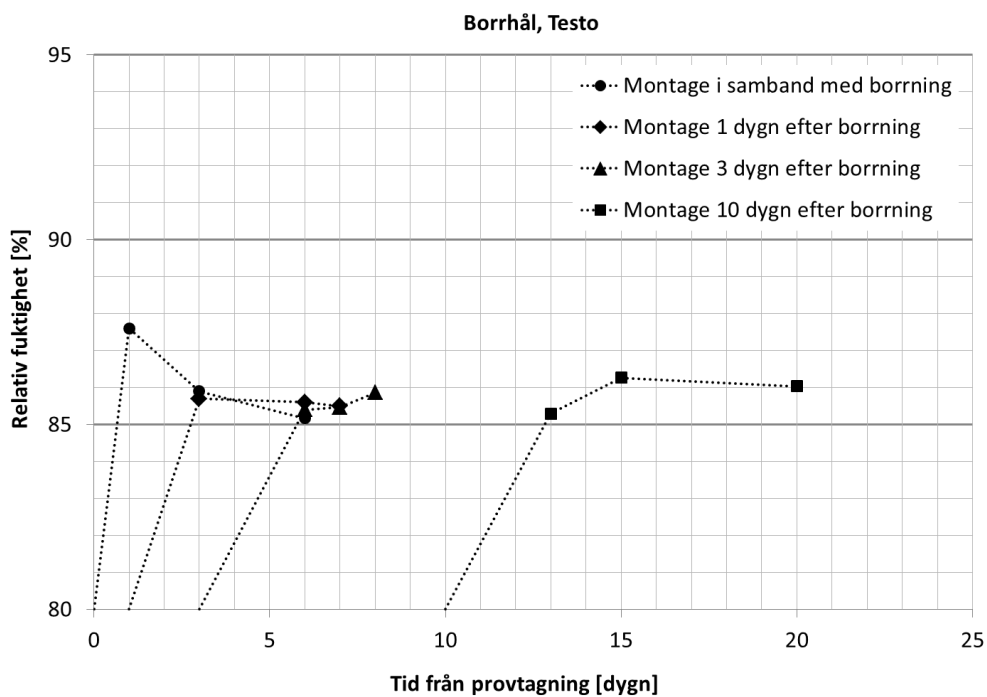
Effekten av olika konditioneringstider före montering av givare vid borrhålmätning undersöktes på samma sätt som för tvåveckorsplattorna där givare av fabriken Vaisala, Testo och HumiGuard, monterades efter olika konditioneringstid. Resultaten för de olika givarfabrikaten visas i figurerna 3.29-3.31.

När givarna monterades direkt i samband med borrhning, det vill säga utan att provhålen tilläts konditionering, krävdes längst tid för att uppnå rimligt god jämvikt. Mätresultaten indikerar att alla givare oavsett fabrikat kan monteras direkt vid borrhning men tiden till jämvikt blir då något längre än om minst ett dygns konditionering tillåts. Mätresultaten indikerar att då givarna monterades direkt vid borrhning krävdes cirka 2-3 dygn till jämvikt medan då borrhålen tilläts minst ett dygns konditionering uppnåddes jämvikt efter uppskattningsvis ett dygn. Givare av fabrikat Testo och HumiGuard monterades så sent som 10 dygn efter borrhning och resultaten från dessa mätningar överensstämde väl med resultaten från mätningar med kortare konditioneringstid.

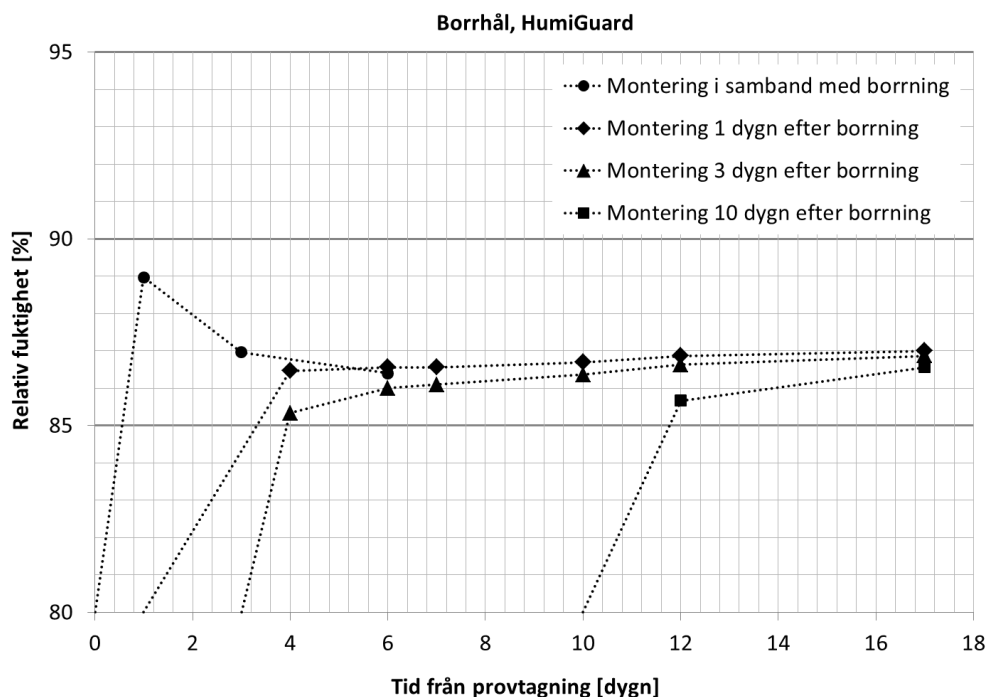
Generellt noterades endast en liten spridning om cirka $\pm 0,5$ % RF mellan de olika mätningarna oavsett konditioneringstid och givarfabrikat.



Figur 3.29 Relativ fuktighet mätt i borrhål med givare av fabrikat Vaisala HMP44 vilka monterades vid fyra olika tidpunkter efter borrhningen varav en variant monterades i samband med borrhning.



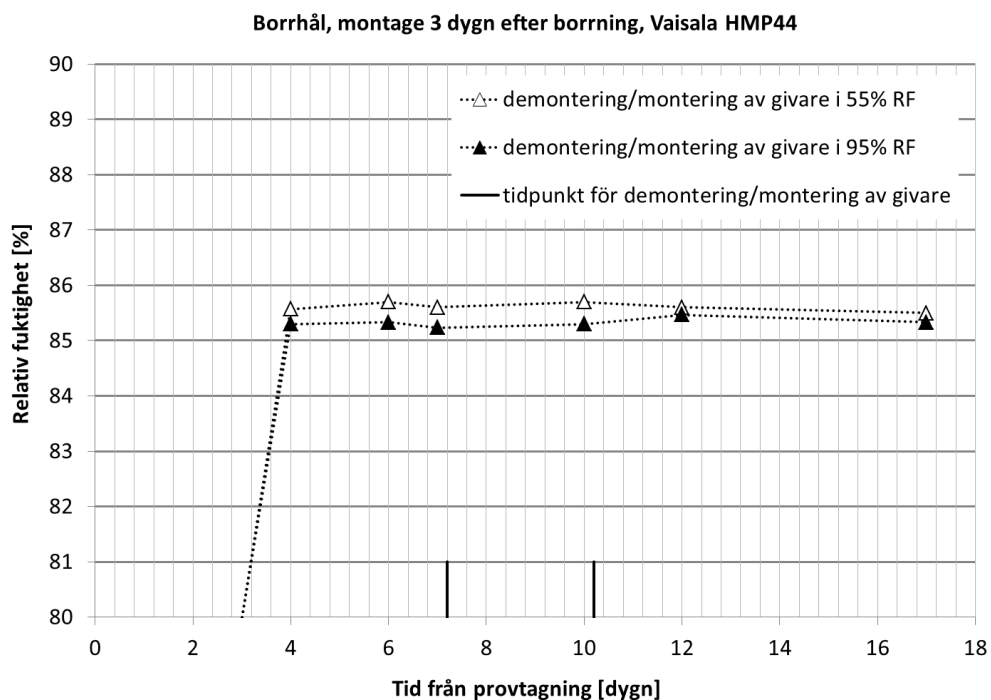
Figur 3.30 Relativ fuktighet mätt i borrhål med givare av fabrikat Testo vilka monterades vid fyra olika tidpunkter efter borrhningen varav en variant monterades i samband med borrhning.



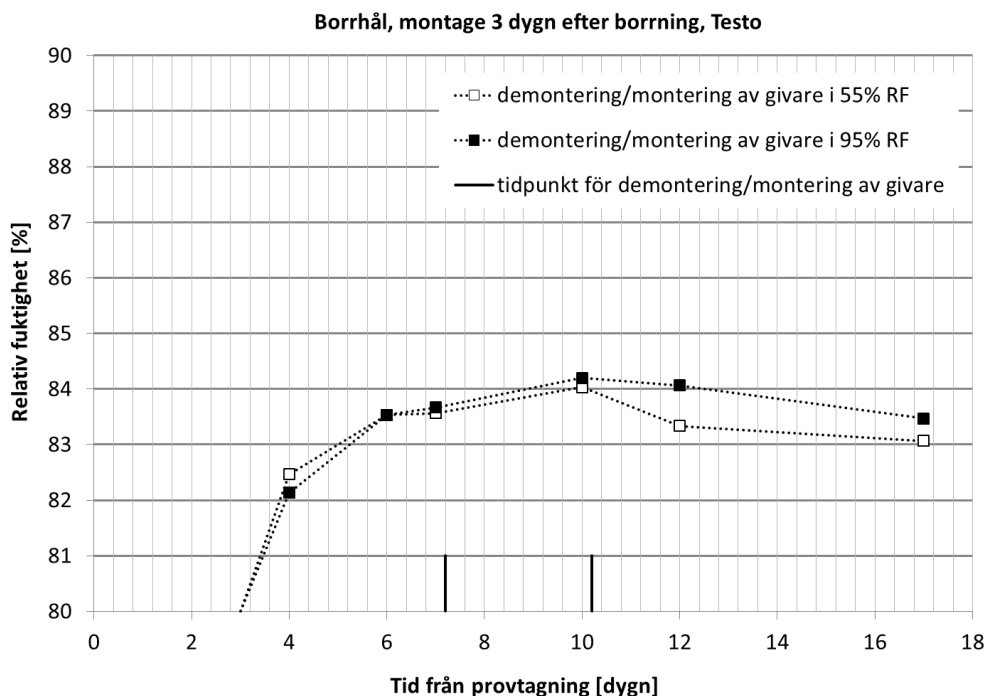
Figur 3.31 Relativ fuktighet mätt i borrhål med givare av fabrikat HumiGuard vilka monterades vid fyra olika tidpunkter efter borrhången varav en variant monterades i samband med borrhången.

3.2.6 Inverkan av montering/demontering av givare i borrhål

Försöken gjordes med givare av fabrikaten Vaisala och Testo. Momentet då givarna demonterades och återmonterades gjordes i två olika omgivande RF, ett högre och ett lägre. Givarna var demonterade under 15 minuter och lagrades i omgivande klimatet före de återmonterades. I figur 3.32-3.33 visas resultat från försöken med de olika givarna vilka visas i respektive figur. Vid jämförelse mellan de olika figurerna framgår att det är endast mätningar med givare av fabrikat Vaisala där inte resultaten påverkas efter återmontering, se figur 3.32. Mätresultatet från givarna av fabrikat Testo påverkas något efter andra återmonteringen då RF-nivån sjunker för båda varianterna oavsett omgivande klimat, se figur 3.33.



Figur 3.32 Relativ fuktighet mätt i borrhål med Vaisala HMP44 efter 3 dygns konditionering. Ofyllda respektive fyllda punkter representerar prov där givaren demonterats/monterats i låg respektive hög relativ fuktighet. Vertikala linjer markerar tidpunkt för demontering/montering av givare.



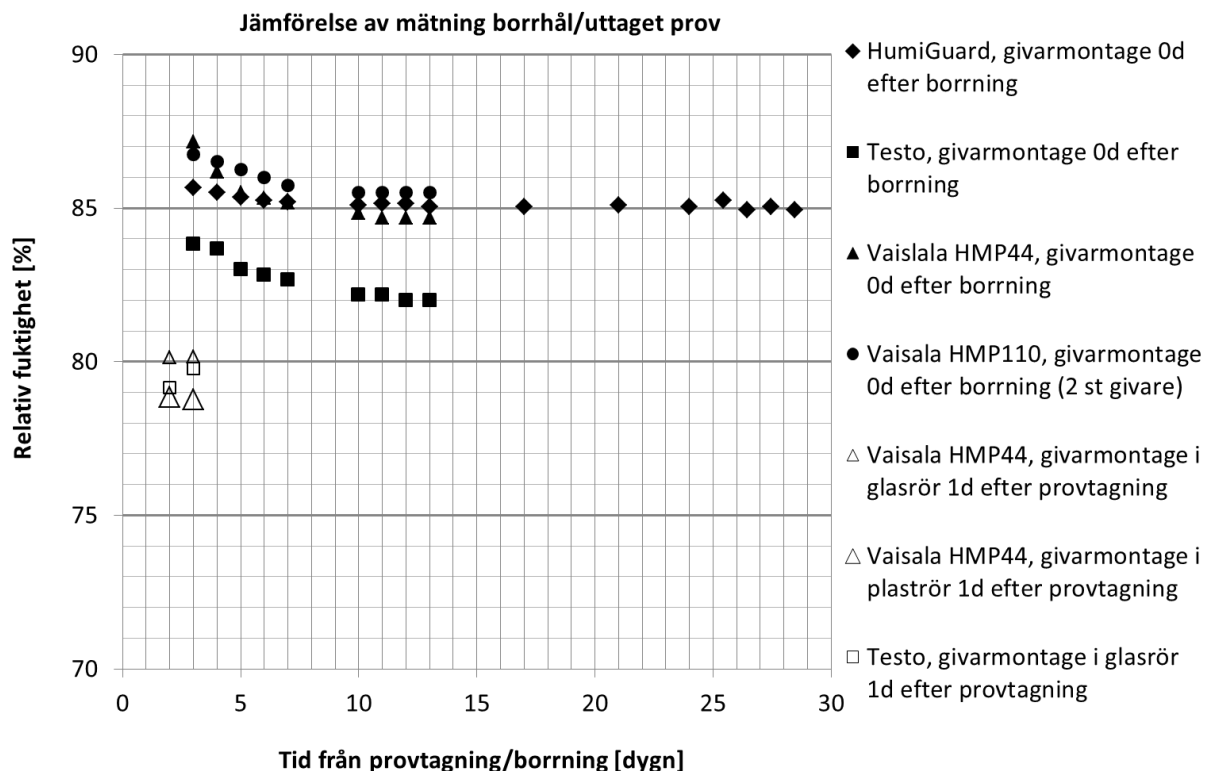
Figur 3.33 Relativ fuktighet mätt i borrhål med Testo efter 3 dygns konditionering. Ofyllda respektive fyllda punkter representerar prov där givaren demonterats/monterats i låg respektive hög relativ fuktighet. Vertikala linjer markerar tidpunkt för demontering/montering av givare.

3.3 PLATTA MED 8 MÅNADERS LAGRING

3.3.1 Jämförelse mellan mätning på uttaget prov och i borrhål

Mätningarna som presenteras i detta avsnitt genomfördes på platta 15 och resultaten presenteras som medelvärde av mätning med tre individuella givare, förutom Vaisala HMP110 där två givare användes, på tre prov eller i tre provpunkter. Merparten av de uttagna proven togs från individuella provpunkter men i vissa fall var mängden uttaget prov från en viss provpunkt tillräcklig för två provrör och resultatet blir då att tre uttagna prov hämtades från två provpunkter.

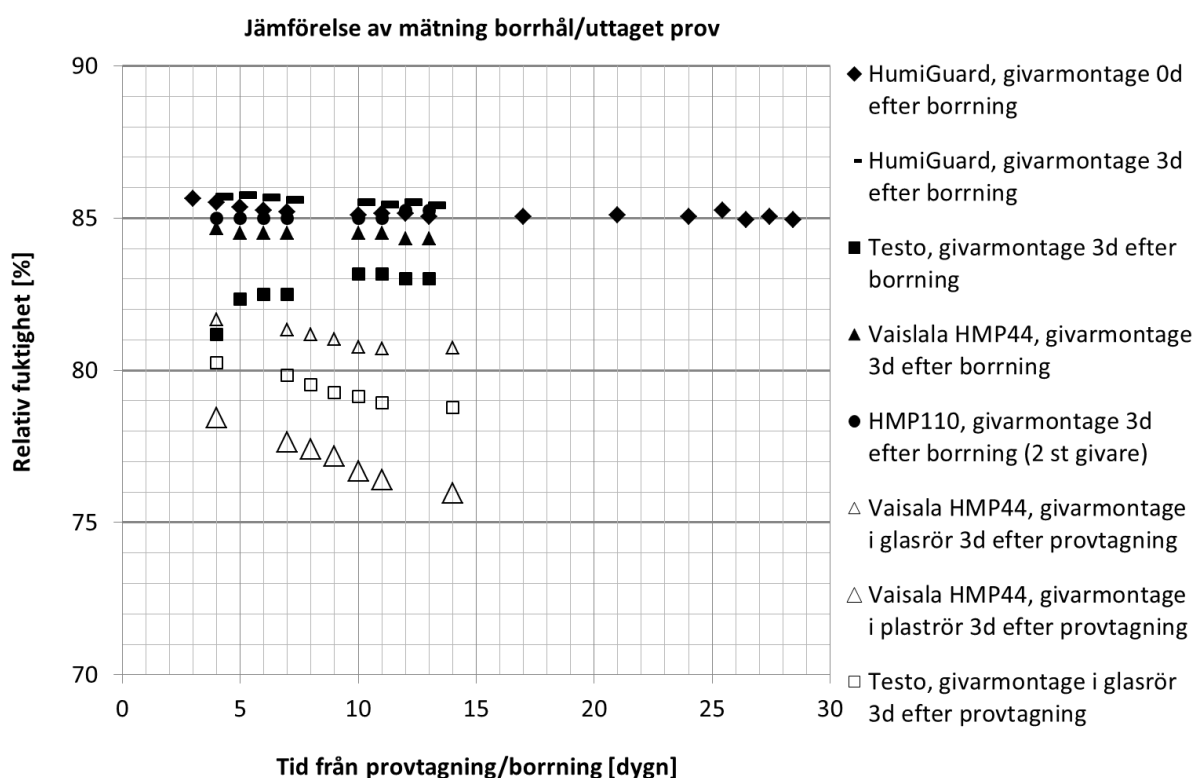
I figur 3.34 visas jämförande resultat från mätningar i borrhål och på uttagna prov. Givarna för borrhålmätning monterades direkt i samband med borrhning vilket innebär att ingen konditionering tilläts av dessa provpunkter medan de uttagna proven tilläts ett dygns konditionering före montering av givarna. För borrhålmätningarna var insvängningsförloppet mot jämviktsläge olika snabbt och givarna HumiGuard samt Vaisala HMP110 uppnådde jämvikt efter cirka 6 dygn medan Vaisala HMP44 och Testo behövde cirka 10 dygn. Resultatet vad gäller RF låg väl samlat kring 85 % RF, $\pm 0,5$ %, utom för givarna av fabrikat Testo som låg cirka 3 % under övriga givare. Mätningarna utförda med uttaget prov låg långt under borrhålmätningarna, cirka 5 % RF. Mätningarna på uttagna prov slutavlästes 2 dygn efter monteringen och Vaisala HMP44 och Testo som var monterade i glasrör visade 80 % RF medan Testo monterade i plaströr visade cirka 79 % RF.



Figur 3.34 Jämförelse av relativ fuktighet mätt dels i borrhål och dels på uttaget prov. Fyllda punkter visar resultat från mätning i borrhål med fyra varianter av givare där samtliga monterades i samband med borrhning. Öfyllda punkter visar resultat från mätning på uttagna prov med två varianter av givare, monterade 1 dygn efter provtagning, där en av varianterna monterades dels i glasrör och dels i plaströr.

I figur 3.35 visas likvärdiga mätningar som i föregående figur med den huvudsakliga skillnaden att både borrhålen och de uttagna proven tilläts 3 dygns konditionering före montering av givare. Eftersom mätrutinerna för HumiGuard kräver att givarna monteras direkt i samband med borrhåll så visas också resultat från en sådan mätserie. Vid borrhållsmätningarna där borrhålen tilläts 3 dygns konditionering uppnåddes jämvikt redan vid första avläsningstillfället, det vill säga 1 dygn efter monteringen, för alla givare utom Testo som behövde ytterligare några dygn till jämvikt. Alla givare utom Testo visade cirka $85 \pm 0,5$ % RF. Vid dessa mätningar, både uttaget prov och borrhåll, försågs Testo med kirurgisk tejp som skydd över sensorn istället för den standarmonterade plasthysan. För att få en uppfattning hur tejpens, och dess eventuella fuktkapacitet, inverkar på mätresultatet så jämfördes mätningar på uttagna prov för sensor med och utan tejp. De uttagna proven hade RF nivån cirka 77 % och när givaren med tejp demonterades och sen återmonterades så sjönk RF cirka 0,9 % medan för givare utan tejp var RF-sänkningen cirka 0,45 %.

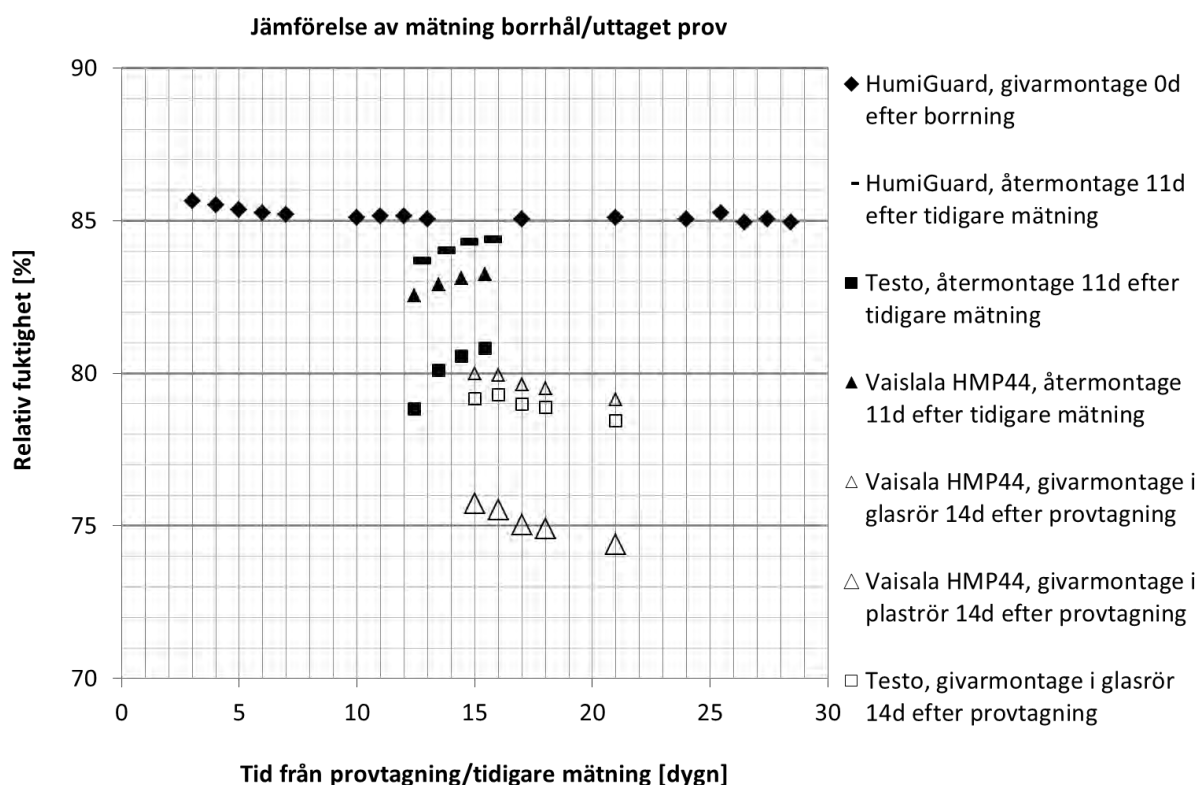
Mätningarna på uttagna prov gjordes delvis i provrör av glas och delvis i provrör av plast. För mätningarna i glasrör uppnåddes jämvikt 10 dygn efter att givarna monterades och Vaisala HMP44 visade 81 % RF och Testo visade 79 % RF. Mätningarna utförda med Vaisala HMP44 på uttagna prov i plaströr avslutades 11 dygn efter att givarna monterades utan att jämvikt var uppnådd och då var den slutliga RF-nivån 74 %.



Figur 3.35 Jämförelse av relativ fuktighet mätt dels i borrhål och dels på uttaget prov. Fyllda punkter, med undantag för romber, visar resultat från mätning i borrhål med fyra varianter av givare där samtliga monterades 3 dygn efter borrhåll. Fyllda romber visar resultat från givare som monterades i samband med borrhåll. Ofyllda punkter visar resultat från mätning på uttagna prov med två varianter av givare, monterade 3 dygn efter provtagning, där en av varianterna monterades dels i glasrör och dels i plaströr.

I figur 3.36 visas en jämförelse av resultat från borrhålmätningar och uttagna prov där borrhålmätningarna gjordes som en första återmontering, det vill säga att tidigare använda borrhål återanvändes. Den föregående borrhålmätningen gjordes med samma typ av givare och avslutades 11 dygn före denna mätning startade, det vill säga att borrhålet var förseglat under 11 dygn utan givare monterad. Eftersom mätrutinerna för HumiGuard kräver att givarna monteras direkt i samband med borrning så visas också resultat från en sådan mätserie. Mätningarna på de uttagna proven startades efter 14 dagars konditionering.

Uppskattningsvis nådde borrhålmätningarna med de återmonterade givarna jämvikt efter cirka 5-6 dygn från monteringen, och visade alla lägre värde jämfört med HumiGuard givare som monterades direkt vid borrning. Givarna av fabrikat Testo visade cirka 81 % RF medan Vaisala HMP44 och HumiGuard visade 83 % RF respektive drygt 84 % RF. Mätningarna på uttagna prov gjordes delvis i provrör av glas och delvis i provrör av plast. Eftersom det rädde brist på givare så kunde inte mätningarna pågå till uppnådd jämvikt utan avslutades 7 dygn efter att givarna monterats. Vaisala HMP44 och Testo monterade i glaströr visade då 79 % RF respektive 78,5 % RF och Vaisala HMP44 som monterats i plaströr visade 74 % RF vilket var markant lägre än resultatet från övriga mätningar.

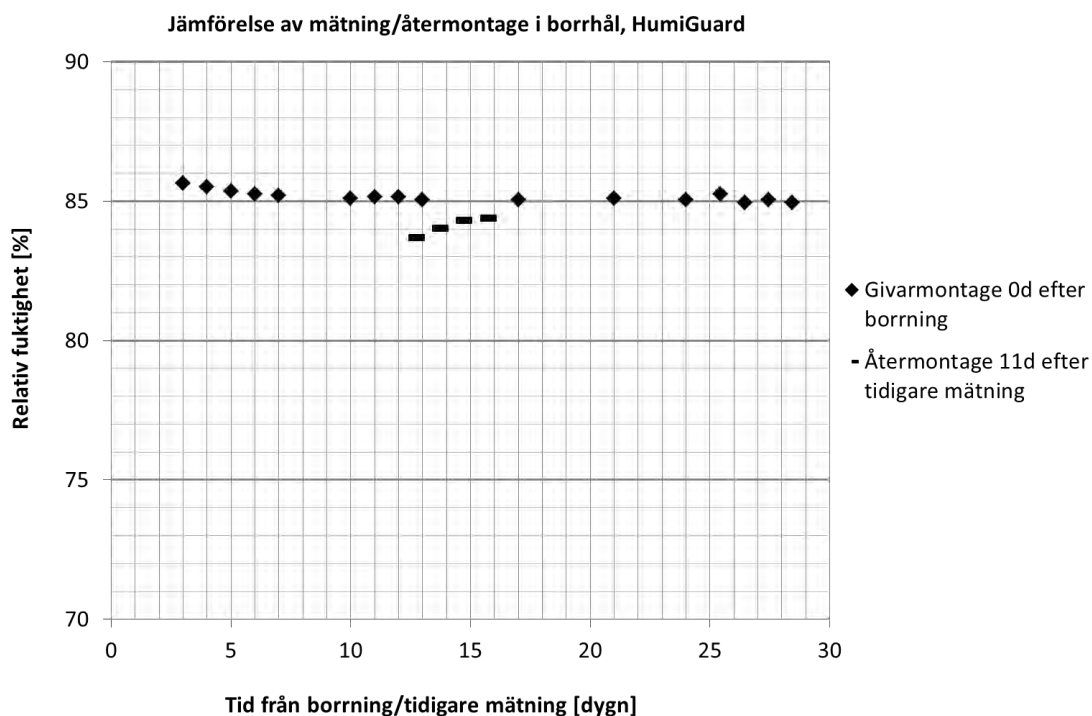


Figur 3.36 Jämförelse av relativ fuktighet mätt dels i borrhål och dels på uttaget prov. Fyllda punkter, med undantag för romber, visar resultat från mätning i borrhål med tre varianter av givare där samtliga återmonterades 11 dygn efter tidigare mätning avslutats. Fyllda romber visar resultat från givare som monterades i samband med borrning. Ofyllda punkter visar resultat från mätning på uttagna prov med två varianter av givare, monterade 14 dygn efter provtagning, där en av varianterna monterades dels i glaströr och dels i plaströr.

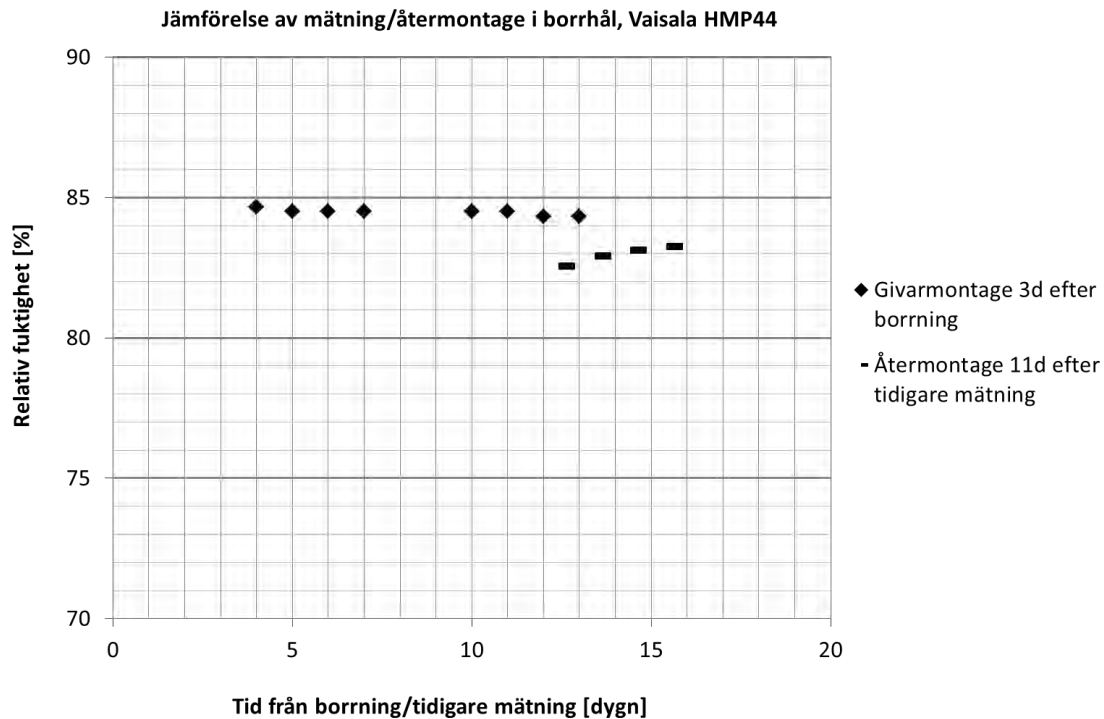
3.3.2 Inverkan av tidigare mätning i borrhål

I figurerna 3.37-3.39 redovisas resultat från borrhålmätningar där givarna dels monterades för första gången och dels återmonterades efter en tidigare mätning. Givarna som monterades för första gången visade olika resultat trots att mätningarna gjordes i samma platta. HumiGuard visade 85 % RF medan både Vaisala och Testo gav lägre värde; 84,2 % RF respektive 83 % RF.

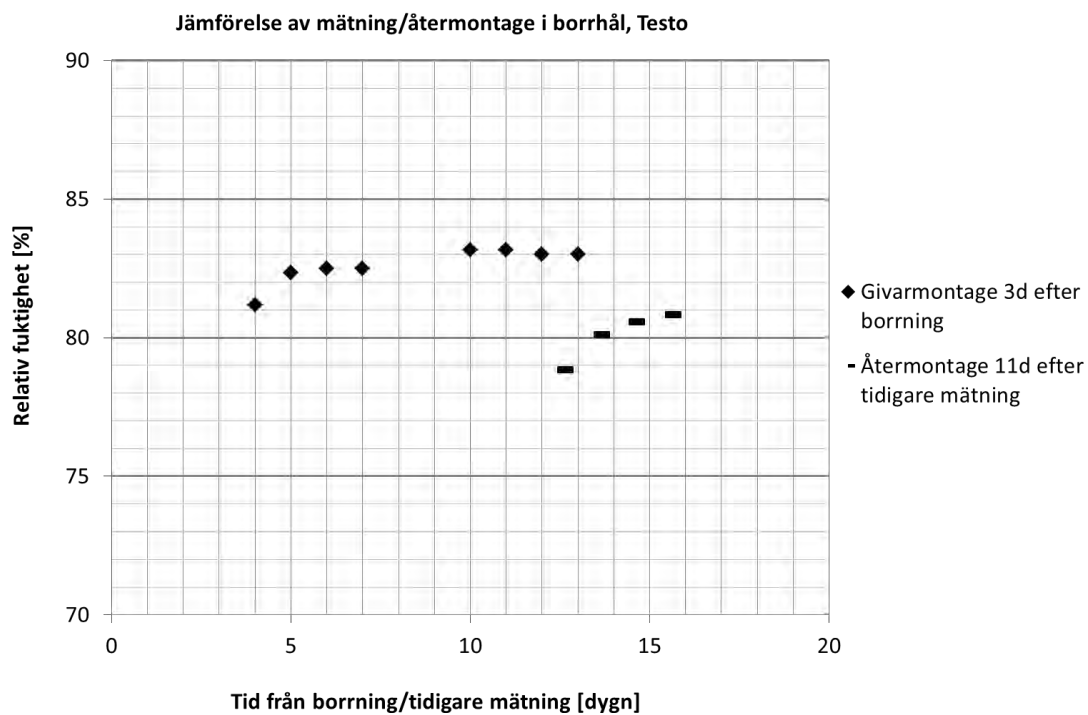
De återmonterade givarna, oavsett fabrikat, nådde uppskattningsvis jämvikt efter att de varit monterad cirka 5-6 dygn. Jämviktsläget hann inte uppnås före mätningarna avslutades eftersom givarna behövdes för annan mätning och därför kan inte jämviktsläget med säkerhet fastställas. Avvikelsen i RF mellan de återmonterade givarna och de som monterats för första gången var olika. För HumiGuard var avvikelsen 0,5 % RF medan för HumiGuard och Testo var avvikelsen 1 % RF respektive 2 % RF.



Figur 3.37 Jämförelse av relativ fuktighet mätt i borrhål med givare som dels monterades i samband med borrhning och dels återmonterats 11 dygn efter en tidigare avslutad mätning i borrhålen.



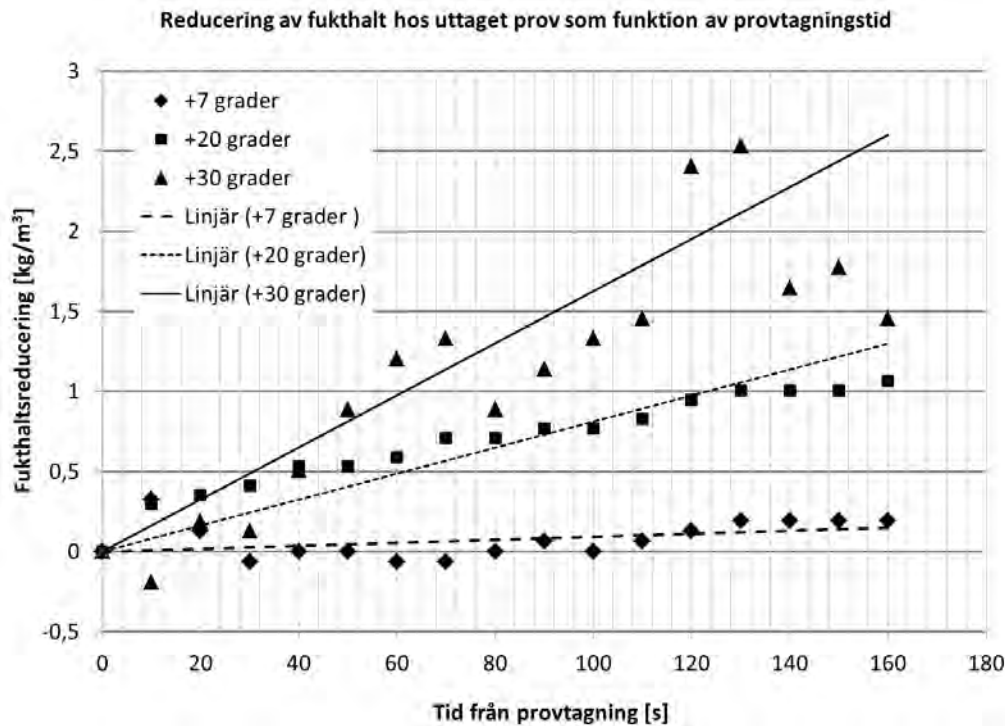
Figur 3.38 Jämförelse av relativ fuktighet mätt i borrhål med givare som dels monterades 3 dygn efter borrning och dels återmonterats 11 dygn efter en tidigare avslutad mätning i borrhålen.



Figur 3.39 Jämförelse av relativ fuktighet mätt i borrhål med givare som dels monterades 3 dygn efter borrning och dels återmonterats 11 dygn efter en tidigare avslutad mätning i borrhålen.

3.3.3 Fuktavgång från uttaget prov

Mätningar som gjordes på uttagna prov visade generellt lägre RF än jämförande borrhålmätningar. Det kan finnas flera tänkbara förklaringar till den observerade skillnaden och en är den fuktmängd som avgår vid provtagning. Resultat från försök där uttagna prov med tre olika starttemperaturer placerades på våg redovisas som reducering av fukthalt [kg/m^3], se figur 3.40.

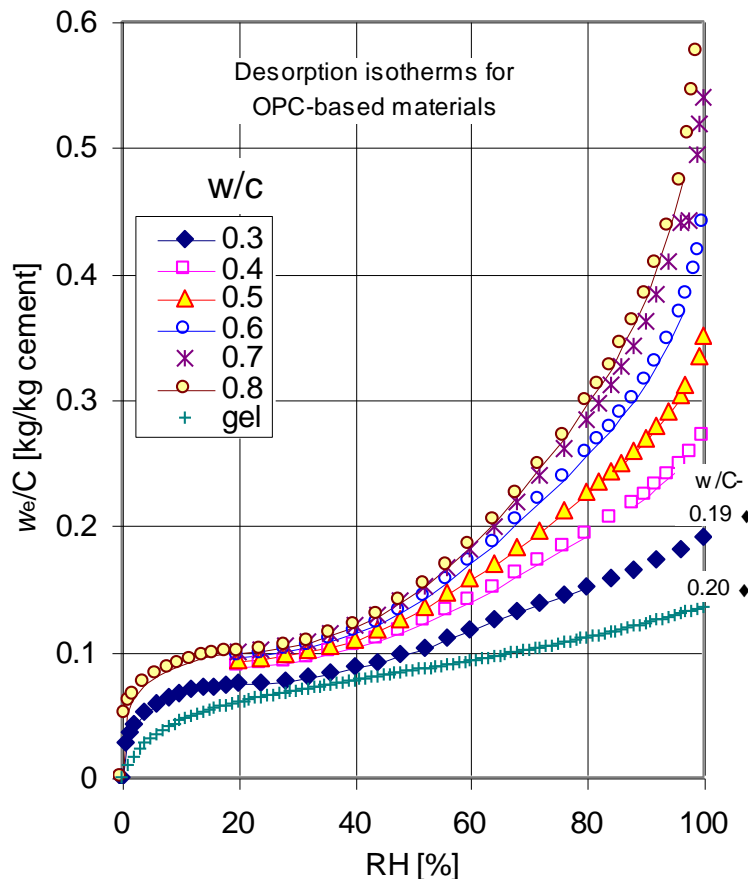


Figur 3.40 Reducering av fukthalt hos uttagna prov som funktion av hanteringstid och provens temperatur vid provtagning.

Mätningar av provbitarnas temperatur vid provtagning visade att de kan nå cirka 30 °C när provtagningsförhållanden inte är optimala. Exempelvis inverkar borrets skärpa betydande på värmeutvecklingen. Med hänsyn till dessa observationer så genomfördes utvärderingen för prov som initialt hade temperaturen 30 °C och därefter exponerades för ett omgivande klimat lika normalt rumsklimat. Vid provtagning enligt RBKs provtagningsrutin tillåts provbitarna befinna sig i luft under maximalt 30 sekunder men i det praktiska fallet är det inte osannolikt att denna tid överskrids något. Därför har fukthaltens reducering per tidsenhet utvärderats under de första minuterna och en uppskattning har gjorts med hjälp av heldragen linje, se figur 3.40. Enligt den heldragna linjen är förändringen i fukthalt 1 kg/m^3 per minut för prov som har temperaturen 30°C vid provtagningstillfället och som sen hanteras i normalt rumsklimat. Betongens torra densitet uppskattas till 2200 kg/m^3 vilket ger att förändring i fuktkvot på grund av avdunstningen är cirka 0,045 % per minut.

För att kunna bedöma hur stor inverkan en viss förändring av fuktkvot har på provets RF krävs kunskap om materialets desorptionsisotermer. I Nilsson (1980) finns desorptionsisotermer redovisade för väl härdade betonger med varierande vct. Provad betong 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 hydrataion uppnåddes. Det är därför en

rimlig approximation att använda desorptionsisotermer enligt figur 3.41 för beräkning av förändring i RF orsakat av förändring i fuktkvot. I figuren avser kvoten, W_e/C , mängden fysikaliskt bundet vatten (kg/m^3) dividerat med mängden cement (kg/m^3). Vid betraktande av desorptionsisotermer för vct 0,4 i RF-området 80-85 %, vilket var aktuellt vid uttagning av prov, kan lutningen uppskattas till cirka 0,005 $\text{kg}/(\text{kg}\cdot\%)$ (kg förångningsbart vatten per kg cement/procentuell förändring i RF). Med hänsyn till cementmängden $450 \text{ kg}/\text{m}^3$, enligt tabell 2.1, kan mängden förångningsbart vatten per volymenhet och procentuell förändring i RF beräknas till $2,25 \text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\%)$. Med hjälp av betongens torra densitet vilken uppskattades till $2200 \text{ kg}/\text{m}^3$ beräknades förändringen i fuktkvot till 0,1 % per procentuell förändring i RF.



Figur 3.41 Desorptionsisotermer för väl härdad betong med olika vct. Data från Nilsson (1980). Kvoten W/C anger vct och förkortningen OPC anger att bindemedlet är Portlandcement. Benämningen gel anges för ett av materialen som består av cementgel.

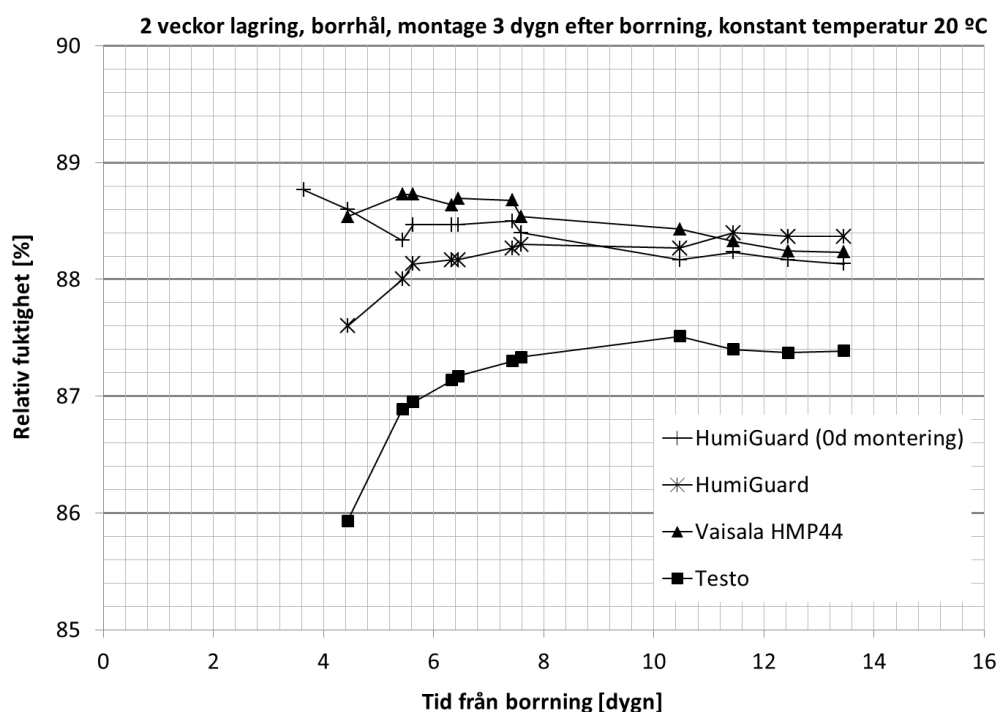
Jämförelsen mellan betongens fuktfixeringsförmåga och förändring av fuktkvot vid hantering av provet i luft under 1 minut visade att provets RF minskade cirka 0,5 %. Att utvärdera avdunstningen för kortare tidsperiod är 1 minut bedöms som alltför osäkert eftersom resultaten från vägningarna de första tiotals sekunderna bedöms osäkra. Ett rimligt antagande är att viktminskningshastigheten är något större under de första tiotals sekunderna vilket innebär att en kortare hanteringstid om 30 sekunder, såsom föreskrivs enligt RBKs rutiner, inte nödvändigtvis ger en halverad RF-sänkning hos provet. Uppskattningsvis resulterar en hanteringstid om 30 sekunder en RF-sänkning mellan 0,25 - 0,5 % för prov med gynnsam storlek. Försöket gjordes med prov av så gynnsam storlekt som möjligt vilket innebär att småbitar sorterades bort och de

prov som exponerades gick att placera i provrör med minsta marginal, se figur 2.16. Om försöket istället genomförts med provbitar av mindre storlek så hade resultatet blivit en större RF-sänkning.

3.4 TEMPERATURINVERKAN VID BORRHÅLSMÄTNING

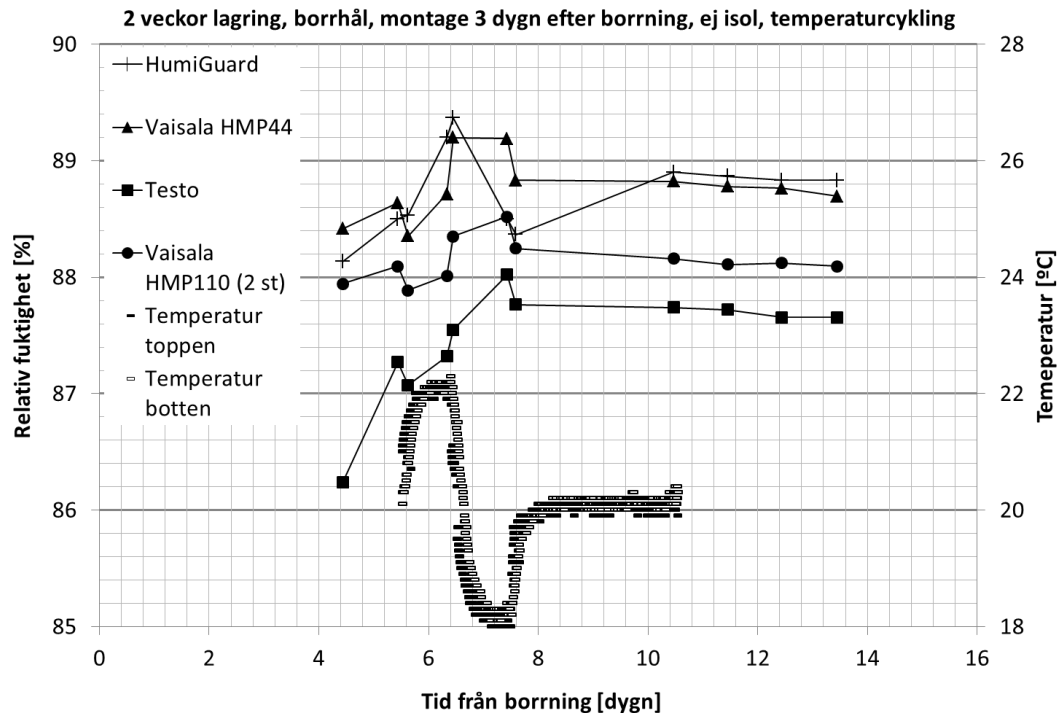
Borrhålsmätningar gjordes på cylindriska provkroppar vilka var fuktisolerade på samtliga sidor och försedda med värmeisolering på undersidan samt längs mantelytan. Samtliga försök gjordes på prov vilka lagrats 2 veckor eller 2 månader före försöken startade. I figur 3.42 och 3.45 visas resultat från mätningar gjorda i stabilt klimat 20 °C på prov med olika lagringstid. Vid mätningen på proven med 2-veckors lagring uppnådde alla givare jämvikt efter att de varit monterade 4 dygn. HumiGuard och Vaisala visade RF i intervallet 88-89 % medan Testo visade ungefär 1 % lägre. Vid uppskattning av en genomsnittlig RF-nivå för de olika mätmetoderna visade proven som lagrats i 2 veckor 88 % medan de som lagrats i 2 månader 87 %, bortsett från avvikande HumiGuard.

Mätning av RF i proven med 2-månaders härdningsålder startade cirka 3 dygn efter borrhålsborrning och 1 dygn senare påbörjades temperaturcyklingen. Eftersom givarna endast var monterade 1 dygn före temperaturcyklingen påbörjades saknas resultat från ett tydligt jämviktsläge. Orsaken till den korta tiden mellan montering av givare och start av temperaturcyklning var att givarna användes i ett parallellt försök inom samma projekt. Emellertid bedöms tiden 1 dygn efter montering av givare, vid 3 dygns konditionering av borrhål, som fullt tillräcklig med hänsyn till resultaten i figur 3.35.



Figur 3.42 Jämförelse av relativ fuktighet mätt i borrhål med olika varianter av givare vilka monterades 3 dygn efter borrhålsborrning. För ytterligare jämförelse monterades en kompletterande serie av fabrikat HumiGuard direkt i samband med borrhålsborrning av mätstålen. Mätningarna genomfördes vid konstant temperatur 20 °C.

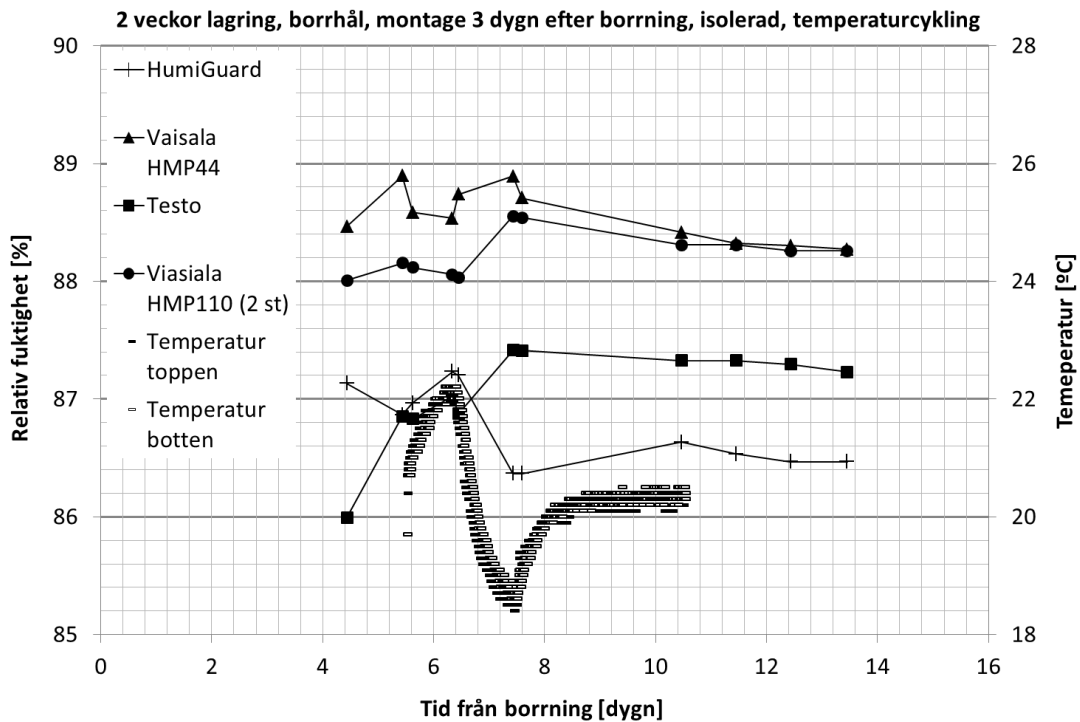
I figurerna 3.43 och 3.46 visas resultat från RF mätningar på oisolerade prov, med olika härdningsålder, vilka exponerats för omgivande temperaturcykling. Proven lagrades i ett stabilt klimat med temperaturen 20 °C både före och efter temperaturcyklingen. Betongens temperatur mättes i topp och botten och redovisas i diagrammen vilka visar att det råder temperaturlgradient med cirka 1 °C skillnad mellan provets topp och botten när omgivningstemperaturen ändras. Spridningen mellan resultat mätta med olika givare ökade efter att proven exponerats för temperaturcykling för båda härdningsåldrarna och för den yngre betongen ökade den genomsnittliga RF-nivån något medan den sjönk något för den äldre betongen.



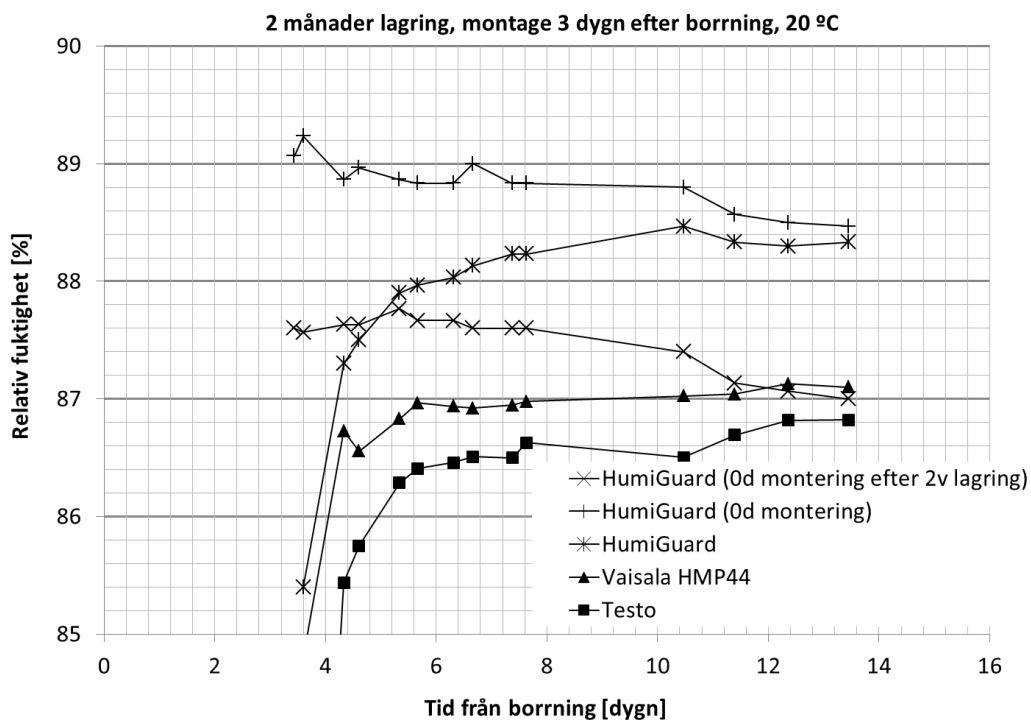
Figur 3.43 Jämförelse av relativ fuktighet mätt i borrhål med olika varianter av givare vilka monterades 3 dygn efter borrhål och saknade värmeisolering. Givarna monterades vid konstant omgivande temperatur 20 °C och när mätningen pågick 2 dygn påbörjades temperaturcykling av proven.

Inverkan av värmeisolering på provens ovansida undersöktes genom att isolerade prov utsattes för temperaturcykling likt de oisolerade proven. Dessa försök gjordes också för betong som lagrats 2 veckor eller 2 månader före försöken startade och resultaten redovisas i figur 3.44 och 3.47 för respektive härdningsålder. Temperaturgradienten mellan provets topp och botten vara ungefär halverade jämfört med de oisolerade proven och uppgick till cirka 0,5 °C. Jämför med de oisolerade proven verkar isoleringen inte påverka medelvärde eller spridning i någon tydlig utsträckning.

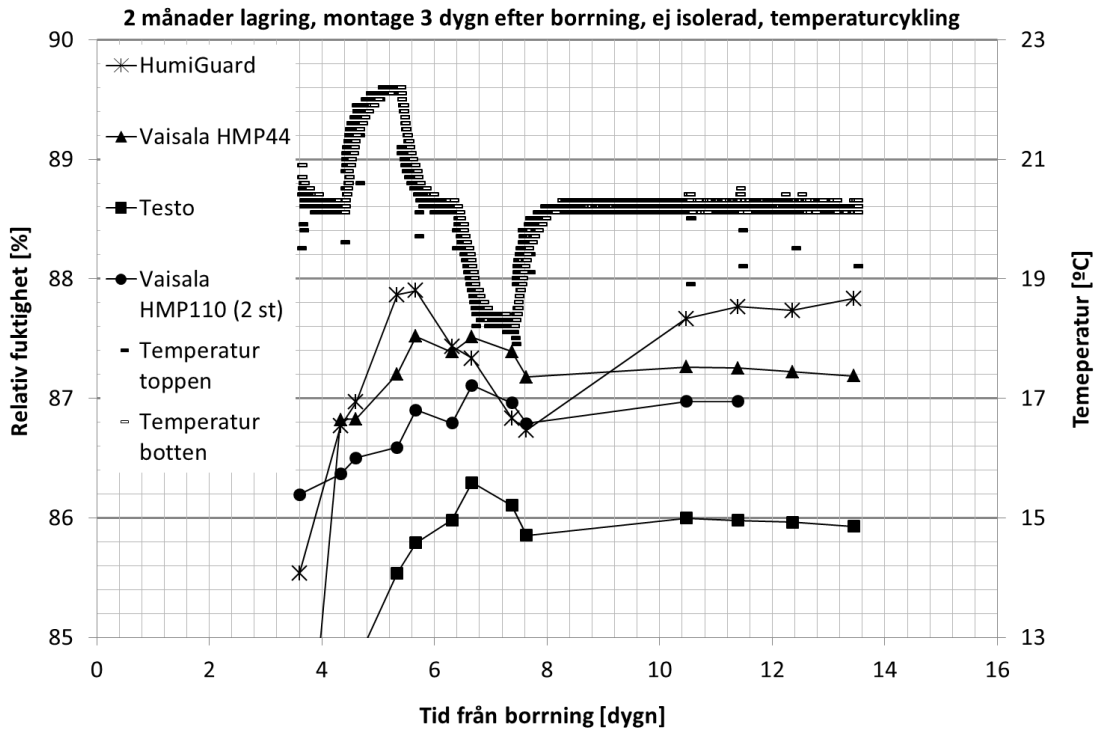
För de temperaturcyklade proven observerades att vid sjunkande temperatur visade HumiGuard lägre RF och övriga givare högre RF än vid försökens början, oavsett om proven var isolerade eller inte.



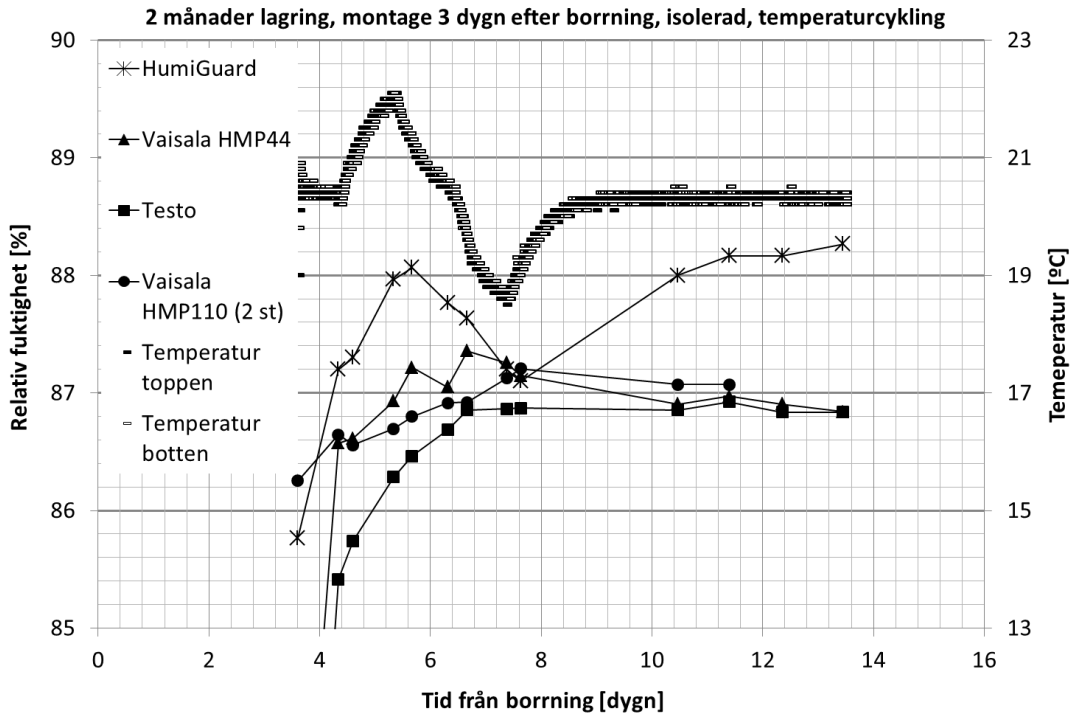
Figur 3.44 Jämförelse av relativ fuktighet mätt i borrhål med olika varianter av givare vilka monterades 3 dygn efter borrhning och försågs med värmeisolering. Givarna monterades vid konstant omgivande temperatur 20 °C och när mätningen pågått 2 dygn påbörjades temperaturcyklning av proven.



Figur 3.45 Jämförelse av relativ fuktighet mätt i borrhål med olika varianter av givare vilka monterades 3 dygn efter borrhning. För ytterligare jämförelse monterades en kompletterande serie av fabrikat HumiGuard direkt i samband med borrhning av mät hålen. Mätningarna genomfördes vid konstant temperatur 20 °C.



Figur 3.46 Jämförelse av relativ fuktighet mätt i borrhål med olika varianter av givare vilka monterades 3 dygn efter borrhål och saknade värmeisolering. Givarna monterades vid konstant omgivande temperatur 20 °C och när mätningen pågått cirka 2 dygn påbörjades temperaturcykling av proven.



Figur 3.47 Jämförelse av relativ fuktighet mätt i borrhål med olika varianter av givare vilka monterades 3 dygn efter borrhål och försågs med värmeisolering. Givarna monterades vid konstant omgivande temperatur 20 °C och när mätningen pågått cirka 2 dygn påbörjades temperaturcykling av proven.

4 SAMMANFATTNING AV RESULTAT

4.1 MÄTNINGAR PÅ EN SERIE PLATTOR SOM HÄRDATS 2 VECKOR ELLER 2 MÅNADER

4.1.1 Variation av RF i en platta

Vid mätningar i enskild platta jämfördes RF för uttagna prov från provpunkter med olika orientering för att undersöka om exempelvis provpunkter orienterade invid plattans kant resulterade i högre RF. Spridningen mellan de olika provpunkterna var $\pm 0,75$ % RF och inga systematiska skillnader kunde noteras över plattans plan.

4.1.2 Inverkan av konditioneringstid för uttaget prov

Enligt resultaten inverkade konditioneringstiden något olika beroende av givarfabrikat. För mätningar som gjordes med Vaisala ökade den avlästa RF-nivån något med en ökad konditioneringstid medan mätningar med givare av fabrikat Testo uppvisade ett motsatt beteende. Emellertid var avvikelserna mellan de olika mätningarna mindre än $\pm 1,5$ % RF vilket kan anses vara en rimligt förväntad avvikelse mellan prov uttagna från olika mätpunkter och i olika plattor. Detta i kombination med att entydiga tydliga systematiska mönster saknas mellan konditioneringstid och inverkan på avläst RF indikerar att ingen av de provade konditioneringstiderna inverkar på mätresultatet.

4.1.3 Inverkan av kondens i provrör

För de provrör där kondens skapats under konditioneringstiden registrerades något högre RF i de fall då Vaisala HMP44-givare användes och då mätningar istället gjordes med Testo-givare registreras emellertid något lägre värden. Avvikelserna mellan mätresultat från mätningar gjorda med samma givarfabrikat på provrör med respektive utan kondens var cirka ± 1 % RF. Vid jämförelse mellan mätningar gjorda med olika givarfabrikat, det vill säga Vaisala och Testo, på prov med kondens noterades större avvikelse om cirka $\pm 1,5$ % RF. Sammanfattningsvis ger mätning med Vaisala något högre värde på prov med kondens och i vissa fall ger Testo något lägre värde.

4.1.4 Jämförelse hel/halv provmängd

Resultat från mätningar gjorda med Vaisala HMP44-givare på prov med halv provmängd, vilka konditionerades i 3 dygn enligt RBKs fuktmätningrutin, visade cirka 1 % lägre RF. När motsvarande mätningen gjordes med Testo visade mätning på halv provmängd mellan 1-2 % lägre RF. Mätningarna gjorda på prov med halv provmängd med respektive givare visade på en god överrensstämmelse och avvikelsen mellan dessa uppgick endast till cirka $\pm 0,6$ % RF vilket indikerar att den lägre RF-nivån om 1-2 % för halv provmängd kan betraktas som en systematisk avvikelse.

I Åhs (2014) gjordes datorsimuleringar med syfte att visa på hur provmängden vid uttaget prov inverkar på RF-nivån. Enligt simuleringarna så borde mätningarna på halv provmängd endast visa marginellt lägre RF. Däremot så indikerade simuleringarna att tiden till att uppnå jämvikt borde blir markant längre med halv provmängd.

4.1.5 Inverkan av montering/demontering av givare samt flytt av prov till nytt provrör

Den mätta RF-nivån sjönk något när proven flyttades till nytt provrör eller när RF-givare monterades/demonterades i omgivning med låg relativ fuktighet. Resultaten visade att

spridningen mellan individuella mätningar var cirka $\pm 1,5$ % RF. Denna spridning var större än inverkan på RF-nivån när givare monteras/demonteras eller proven flyttades till nytt provrör.

4.1.6 Inverkan av konditioneringstid för borrhål

Generellt noterades endast en liten spridning om cirka $\pm 0,5$ % RF mellan de olika mätningarna oavsett konditioneringstid och givarfabrikat. Mätresultaten indikerade att provade givare, oavsett fabrikat, kan monteras direkt vid borrhning men tiden till jämvikt blev då något längre än om minst 1 dygns konditioneringstid tilläts. När givarna monterades i samband med borrhning så krävdes 4 dygn för HumiGuard samt 6 dygn för Vaisala HMP44 och Testo att uppnå jämvikt. Givare av fabrikaten Testo och HumiGuard monterades så sent som 10 dygn efter borrhning och resultaten från dessa mätningar överensstämde väl med resultaten från mätningar med kortare konditioneringstid. Sammanfattningsvis är det inte endast givare av fabrikat HumiGuard som kan monteras i samband med borrhning utan detta fungerar också för Vaisala HMP44 samt Testo med bibehållen mätnoggrannhet förutsatt att de tilläts sitta monterade minst 6 dygn före avläsning.

4.1.7 Inverkan av montering/demontering av givare i borrhål

För att kunna klargöra hur fuktkapaciteten hos de olika RF-givarna inverkar på mätresultaten så demonterades och återmonterades givarna under en serie mätningar. Försöken gjordes med givare av fabrikaten Vaisala HMP44, Testo samt HumiGuard och momentet då givarna demonterades och återmonterades gjordes i två olika omgivande RF, ett högre och ett lägre. Resultaten visar att det är endast är mätning med Testo, försedd med kirurgisk tejp, som påverkas och visar cirka 1 % lägre RF efter två demonteringar/återmonteringar i den torrare omgivningen. När försöket genomfördes i omgivningen med den högre RF-nivån påverkades ingen av givarna av demonteringar/återmonteringar. Mätresultaten tyder på att Testo-givaren har högre fuktkapacitet och/eller har högre transportförmåga så att den snabbare kan lämna från sig eller ta upp en viss mängd fukt jämfört med Vaisala och HumiGuard.

4.2 MÄTNINGAR PÅ EN PLATTA MED 8 MÅNADERS HÄRDNINGÅLDER

4.2.1 Jämförelse mellan mätning i borrhål och på uttaget prov

För borrhålmätningarna där givarna monterades i samband med borrhningen var insvängningsförloppet olika snabbt och HumiGuard, Testo samt Vaisala HMP110 uppnådde jämvikt efter cirka 10 dygn medan Vaisala HMP44 behövde 11 dygn. De två förstnämnda givarna vilka snabbast nådde jämvikt var också de som visade högst RF, cirka 85 %, medan Vaisala HMP44 och Testo visade något under 85 % RF respektive 82 % RF. När givarna istället monterades efter 3 dygns konditioneringstid så nåddes jämvikt redan vid första avläsningstillfället, det vill säga 1 dygn efter monteringen, för alla givare utom Testo som behövde ytterligare några dygn till jämvikt. Resultaten var i stort oförändrade, förutom för Testo som visade cirka 1 % lägre RF, jämfört med när givarna monterades i samband med borrhningen. Att en kortare eller obefintlig konditioneringstid ökade tiden till jämvikt kunde inte noteras i de tidigare försöken på plattor med kortare härdningstid. Orsaken var sannolikt ett långsammare fuktutbyte mellan givare och betong eftersom denna platta härdats under betydligt längre tid och därför fått lägre fukttransportförmåga. Givare av fabrikat Testo visade generellt lågt RF i förhållande till övriga givare och också Testos längre tid till jämvikt indikerar att givaren (inklusive kirurgisk tejp) har en hög fuktkapacitet som kan inverka negativt på mätresultatet. Resultaten från Testo visar på

osäkerheter och vidare undersökning krävs för att givaren ska kunna bedömmas som tillförlitlig. Resultaten från HumiGuard och Vaisala HMP110 indikerade att dessa givare kan monteras direkt i samband med borrningen under förutsättning att tillräckligt lång tid till jämvikt tillåts.

Mätning på uttagna prov gav generellt 3-5 % lägre RF jämfört med borrhålmätning oavsett givare. När de uttagna proven tilläts konditionering i 3 dygn, enligt RBKs mät rutin, så visade både Testo och Vaisala HMP44 cirka 3 % lägre RF än när borrhålmätning gjordes med samma givare. Vid samma jämförelse för Vaisala HMP44 med skillnad att uttagna provet lagrades i plaströr så ökade skillnaden till 6,5 % RF under förutsättning att mätningen avslutades senast 10 dygn efter provtagningen. Avvikelsen för uttaget prov i plaströr ökade med ökad konditionerings- och/eller mättid vilket tyder på att plaströren inte var tillräckligt täta.

Upprepade mätningar på uttagna prov gjordes med Testo som demonterades och återmonterades. Provens initiala RF-nivå var 77 % och resultaten visade att när Testo monterades utan tejp så sjönk RF-nivån 0,42 % -enheter medan motsvarande sänkning var 0,9 % -enheter när givaren var försedd med tejp. I Åhs (2014) gjordes datorsimuleringar för att visa hur mycket RF-nivån minskade i ett provrör när de olika givarna monterades. Provets initiala RF antogs vara 86 % och när Vaisala HMP44 monterades minskade RF 0,3 % -enheter medan motsvarande sänkning för Testo med och utan kirurgisk tejp var 0,13 respektive 0,43 % -enheter. Eftersom betongens initiala RF-nivå skilde mellan mätningarna och simuleringarna så kan inte beloppen direkt jämföras. Emellertid visade båda studierna att Testo försedd med kirurgisk tejp sänkte RF-nivån mer än Vaisala HMP44 vilket också mätningarna på betong med 8-månaders härdning visade. Slutsats från både mätningar och simuleringar var att merparten av RF-sänkningen vid mätning med Testo orsakades av den kirurgiska tejp och Vaisala HMP44 orsakade något mindre RF-sänkning jämfört Testo försedd kirurgisk tejp.

Läckaget av fukt från fyra olika varianter av provrör mättes och dess konsekvens analyserades i Åhs (2014). Provrören av glas respektive plast som användes för de uttagna proven i denna studie benämns "långt provrör" respektive "plaströr" i Åhs (2014). Mätningarna av läckage gjordes på tre olika varianter av glaströr och en variant av plaströr. Under försöket lagrades betongprover, med RF mellan 74-80 %, i provrören vilka var förseglade med gummikork. Resultatet från studien visade att läckaget från de olika rören var ytterst litet och resulterade i en RF-sänkning i intervallet 0,03 % - 0,09 % efter 61 dagar för glaströren medan motsvarande RF-sänkning för plaströren var 0,57 % - 0,83 %. För att uppnå en så pass god täthet så krävdes det emellertid att gummikorkarna spändes mycket hårt. Läckaget mellan gummikork och plaströr är sannolikt orsaken till att mätning på uttaget prov i plaströr generellt resulterade i en lägre RF-nivå än motsvarande mätning i provrör av glas. Det kan finnas flera orsaker till att läckage lättare uppstår för plaströren och en rimlig förklaring är att plaströren var försedda med två korkar vilket kan innebära att när en kork spänns bildas tryck i provröret som resulterar i att den andra korken lossar något. En annan förklaring är att plaströren saknade fasning såsom hos glaströren vilket medför att kontaktytan mellan plaströr och kork blir mindre jämfört med glaströren.

4.2.2 Inverkan av tidigare mätning i borrhål

En återmontering gjordes för tre av givarna och jämvikt nåddes efter cirka 5 dygn och också då visade HumiGuard högst RF, 84 %, medan Vaisala HMP 44 och Testo visade 83 % RF

respektive 81 % RF. När de tre givarna återmonterades i borrhålen så blev RF-nivån cirka 1 % lägre, jämfört med första mätningen med 3 dygns konditioneringstid, förutom för Testo som visade 2 % lägre RF. Vid de föregående försöken, gjorda på yngre betong, kunde inte samma tydliga RF-minskning noteras när givare demonterades och sen återmonterades. Skillnaden i resultat beror sannolikt på att betongens härdningsålder, och därmed dess fukttransportförmåga, inverkar på jämviktsläget mellan betongen och givarna. Betongen hade förmodligen fått en så pass låg fukttransportförmåga att den del närmast borrhålet, vilken ska förse givaren med fukt, inte hann återta samma RF-nivå som före den första mätningen. Eftersom utjämningsförloppet hos betongen är så pass långsamt så uppnås sannolikt endast jämvikt med betongen närmast borrhålet vilken har något lägre RF-nivå än betongen som helhet. Resultaten visar tydligt att givare inte kan återmonteras i borrhål inom 11 dygn från en tidigare avslutad mätning om mätnoggrannheten ska bibehållas. Effekten av längre konditioneringstid än 11 dygn vid återmontering undersöktes inte och därför saknas mätresultat som visar att mätning genom återmontering i ett tidigare mäthål kan göras med rimligt god mätnoggrannhet.

I Åhs (2014) gjordes datorsimuleringar med syfte att klargöra hur RF-nivån förändras i borrhål när fuktgivare monteras. Enligt förutsättningarna var betongens initiala fuktnivå 86 % RF och den omgivande luften hade 55 % RF. HumiGuard antogs ha 85 % RF vid montering i enlighet med hur den är konditionerad från fabrik medan Testo och Vaisala HMP44 antogs ställa in sig med omgivningens RF-nivå inför monteringen. Enligt simuleringsresultaten så förändrades borrhålets RF-nivå nästan inte alls efter att HumiGuard monterades medan då Vaisala HMP44 och Testo, med kirurgisk tejp, monterades sjönk RF-nivån med 0,13 respektive 0,17 % - enheter. Testo monterad utan kirurgisk tejp resulterade i en mindre sänkning om 0,1 % RF.

Resultatet från simuleringarna visade att RF-nivån i borrhål endast sänks marginellt när givare monteras och den största sänkningen noteras för Testo med kirurgisk tejp. Dessa resultat stämmer rimligt väl överrens med mätningarna på betong med härdningsålder 2 veckor eller 2 månader. När motsvarande mätningar gjordes på betongen med 8 månaders härdningsålder så noterades 1 % lägre RF för både HumiGuard och Vaisala HMP44 medan Testo med kirurgisk tejp sänkte RF-nivån med cirka 2 %. Mätresultaten tyder på att betongens härdningsålder inverkar märkbart på fuktbalansen i borrhålet med resultat att mätresultatet vid återmontering av givare minskar i tillförlitlighet för en äldre väl härdad betong.

4.2.3 Fuktagång från uttaget prov

När uttagna provbitar hanterades 30 sekunder i omgivande luft sjönk RF mellan 0,25-0,5 %. Försöket gjordes på betong som härdats 2 månader och provens storlek valdes så gynnsam som möjligt vilket innebär att småbitar sorterades bort. Om försöket istället genomförts med provbitar av mindre storlek så hade hanteringen av proven sannolikt resulterat i större RF-sänkning.

De tidigare försöken där givare återmonterades vid borrhålmätning på stora skillnader beroende av betongens ålder där en betong med längre härdningstid uppvisade ett mycket långsamt förlopp när det gällde återhämtning av RF i borrhålet. Resultaten visade på stora skillnader mellan betong som härdats 2 eller 8 månader där den äldre betongen uppvisade resultat som tyder på lägre fukttransportförmåga. Vid hantering av prov i luft så skulle den lägre fukttransportförmågan

sannolikt resultera i en ökad tid för återuppfuktning av provets ytor med följd att den uppmätta RF-nivån skulle bli lägre.

I Åhs (2014) har fuktavgivningen från prov med olika form och storlek studerats genom datorsimuleringar. Exempelvis studerades fuktavgivningen för uttagna prov av diskusform med diameter 20 mm och varierande tjocklek mellan 1, 5 och 10 mm. Proven för försöket enligt avsnitt 3.3.3 liknade till stor del de största diskusformade proven i simuleringstudien. Enligt simuleringarna ökade fuktavgivningen markant med minskad tjocklek hos de diskusformade proven. Vid 30 sekunders hantering av prov med temperaturen 20°C minskade RF med 0,5-1 % för 10 mm tjocka prov medan om provens tjocklek minskade till 5 mm eller 1 mm så minskade dess RF med 1,5 respektive 5 % -enheter. Ökades den drivande potentialen med avseende på ånghalt ytterligare, vilket motsvarade att provet var varmare än omgivningen, så blev RF-sänkningen ännu större med minskad provstorlek. När den drivande potentialen ökades för att motsvara en situation då proven hade temperaturen 30 °C så var RF-sänkningen cirka 13 % -enheter för de minsta proven. En provtjocklek mellan 1-5 mm kan förefalla orimligt liten för att vara representativ men om man beaktar att en viss andel av proven innehåller ballastkorn, fraktion 0-12 mm, vilka är innesluta i cementpasta så är det inte orimligt att det omslutande skiktet cementpasta har just en tjocklek i intervallet 1-5 mm. Eftersom ballasten endast till marginell utsträckning deltar i fukttransportförloppet så kommer prov med innesluten ballast att få en förhållandevis stor RF-sänkning vid hantering.

De sammanvägda resultaten från försöken och datorsimuleringarna visar att när uttagna prov hanteras enligt RBKs rutiner kan dess RF-nivå sänkas med flera % -enheter under ogynnsamma omständigheter. Exempel på faktorer som inverkar negativt är om proven innehåller stor andel ballast och är små. Andra faktorer som inverkar är en lång provtagningstid och användandet av oskarpa verktyg för provtagning vilket resulterar i att proven värms.

4.3 TEMPERATURINVERKAN VID BORRHÅLSMÄTNING I CYLINDRISKA PROVKROPPAR

Resultaten visade på generella tendenser både för provkroppar med olika härdningsålder och för provkroppar som var isolerade respektive oisolerade. De olika givarna reagerade olika på temperaturcyklingen och kan utifrån detta delas in i tre grupper;

HumiGuard är den enda givaren för vilken RF minskade när temperaturen sjönk. Temperatursänkningen från 22 till 18 °C vilken gjordes under ungefär 1 dygn resulterade i att HumiGuard visade cirka 1 % lägre RF och vid påföljande temperaturhöjning från 18 till 20 °C ökade RF cirka 0,5 %.

Vaisala HMP 110 och Testo visade ett motsatt beteende jämfört med HumiGuard. Temperatursänkningen från 22 till 18 °C, vilken gjordes under ungefär 1 dygn, resulterade i att de båda givarna visade cirka 0,5 % högre RF och vid påföljande temperaturhöjning från 18 till 20 °C ökade RF cirka 0,2-0,3 %. Vaisala HMP44 hade ett liknande beteende som Vaisala HMP 110 och Testo. Temperatursänkningen med 4 °C under 1 dygn resulterade i att RF ökade cirka 0,2-0,3 % och när temperaturen åter ökades med 2 °C sjönk RF uppskattningsvis med hälften av den tidigare höjningen.

Orsaken till att Vaisala och Testo visar lägre RF när den omgivande temperaturen sjunker beror sannolikt på att bakre delen av givaren (och kabeln i fallet för Vaisala) befinner sig i kontakt med omgivande luft och därför kyls snabbare än betongen. Temperaturskillnaden mellan givare och betong, där givaren har lägre temperatur, orsakar att RF-nivån överskattas. HumiGuard sensorn sitter som helhet monterad i betongen och antar därför uppstår sannolikt ingen temperaturskillnad mellan givare och betong i detta fall. Som förväntat visar därför HumiGuard något lägre RF när temperaturen sjunker vilket orsakas av att betongens faktiska RF sjunker på grund av att dess jämviktsfuktkurva är temperaturberoende.

5 SLUTSATSER

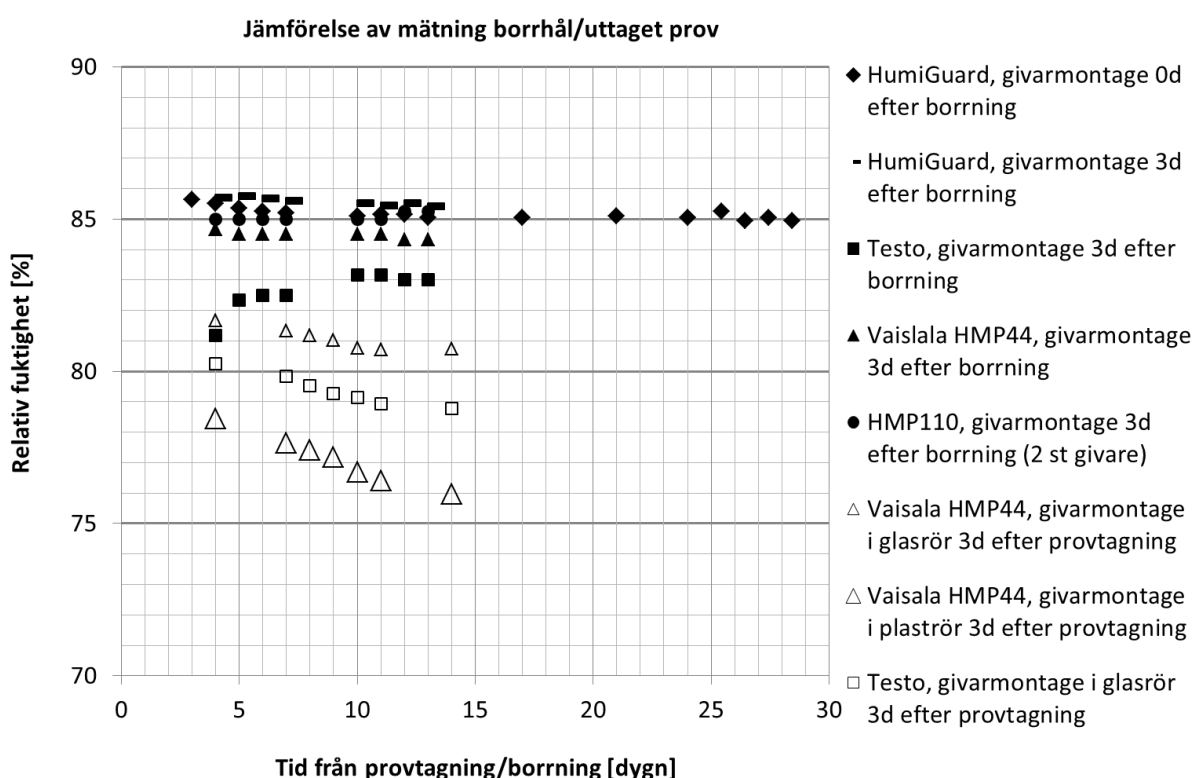
Mätning av RF på uttagna prov visade systematiskt mellan 3-5 % -enheter lägre värden jämfört med mätningar i borrhål. Orsak till skillnaden mellan mätmetoderna var flera och undersöktes genom att antal delstudier där hantering av proven i omgivande luft verkade avgörande. Vid ogynnsam hantering sjönk RF-nivån med flera % -enheter där faktorer som provens storlek samt värmeutveckling vid provtagning var avgörande. Mätningar visade att fuktavgivningen ökade påtagligt med ökande temperatur hos provet och vid halverad provmängd mättes 1-2 % lägre RF. Beräkningar gjordes som visade att RF-sänkningen ökade markant för uttagna prov av mindre fraktion vilket innebär att också mängden ballast har betydelse. Om prov tas ut från en betong med hög andel ballast, speciellt i fraktionen 5-10 mm, uppstår risk att man omedvetet mäter på prov som innesluter hög andel ballast med följd att RF sjunker mycket vid hantering. Vid normal hantering uppvisade provrör av plast läckage som resulterade i påtaglig sänkning av RF hos provet och därför bör dessa provrör undvikas.

Borrhålmätningarna visade att HumiGuard och Vaisala HMP110 kan monteras direkt i samband med borrhning med bibehållen mätnoggrannhet. Tiden till jämvikt blev emellertid längre än om viss konditioneringstid tilläts. När mätningar i borrhål genomfördes efter återmontering av givare i tidigare använda mätbehåll blev RF-nivån 1-2 % lägre jämfört med den första mätningen. Återmonteringen gjordes endast på betong som härdats under 8-månader. Sannolikt bidrog den mycket väl härdade betongens låga fukttransportförmåga till att fuktnivån inte återstälts efter första mätningen och detta trots 11 dygns konditioneringstid mellan mätningarna. Att återmontera givare kan därför anses som tveksamt med hänsyn till mätosäkerheten. Borrhålmätningarna visade på viss känslighet för temperaturvariationer i omgivningen där en temperaturförändring med 4 °C under 1 dygn kan påverka RF-nivån med cirka 1 % -enhet. Temperaturpåverkan minskades endast marginellt när givarna försågs med värmeisolering.

Testo försedd med kirurgisk tejp, 3M Micropore, visade påtaglig RF-sänkning vid montering i borrhål. Mätningar i Åhs (2014) visade att den provade tejpens hade större fuktkapacitet jämfört med sensorn och därför är tejpens den starkast bidragande orsaken till RF-sänkningen. Enligt RBKs fuktmättningsmanual ska kirurgisk tejp av fabrikat Scanpor användas. Oavsett om tejpens av fabrikat Scanpor har lägre fuktkapacitet jämfört med den provade så bedöms det alltför osäkert att mätmetodens noggrannhet bygger på en utbytbar tejp. De båda tejporna marknadsförs som kirurgisk tejp och har likvärdigt utseende och kan därför enkelt förväxlas. Också om en viss tejp med låg fuktkapacitet, vilken då inte nämnvärt inverkar på mätresultatet, kan identifieras och rekommenderas av RBK bedöms en sådan metod som alltför osäker eftersom tillverkaren av tejpens kan förändra dess egenskaper utan att detta kommer RBK-systemet till kännedom. Tillsviare bör därför mätningar med Testo i kombination med kirurgisk tejp undvikas.

Sammanfattningsvis finns det ett flertal faktorer, se punktlisa nedan, som inverkar på resultatet vid RF-mätning på uttaget prov från betong med lågt vct. Effekten av dessa faktorer, enskilda eller tillsammans, är orsak till att RF-mätning på uttagna prov kan ge missvisande lågt resultat. Skillnader mellan de olika mätmetoderna framgår tydligt i nedanstående figur som utgör en bra sammanställning av mätningarna.

- * Tiden provbitarna hanteras i omgivande luft
- * Storleken hos de uttagna provbitarna
- * Uppvärmning av provbitarna vid provtagning
- * Betongens ballastandel samt ballastens storlek
- * Provbehållare av plast uppvisade läckage



Figur Jämförelse av relativ fuktighet mätt dels i borrhål och dels på uttaget prov. Fyllda punkter, med undantag för romber, visar resultat från mätning i borrhål med fyra varianter av givare där samtliga monterades 3 dygn efter borrning. Fyllda romber visar resultat från givare som monterades i samband med borrning. Ofyllda punkter visar resultat från mätning på uttagna prov med två varianter av givare, monterade 3 dygn efter provtagning, där en av varianterna monterades dels i glasrör och dels i plaströr.

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.

RBK (2010), "Fuktmättningsmanual – betong", version 5, Rådet för ByggKompetens, Sveriges Byggindustrier.

Johansson, P (2012) "Laborariestudien bakom TorkaS3", Rapport TVBM-3165, Avd Byggnadsmaterial, LTH.

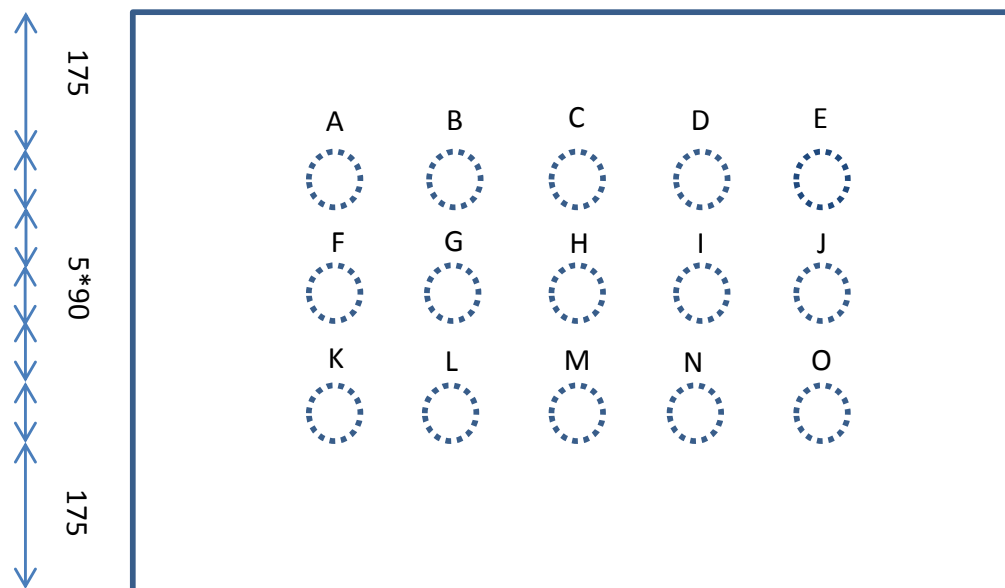
Nevander L-E. och Elmarsson B. (1994), "Fukt handbok – teori och praktik", Andra reviderade upplagan, AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.

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

Åhs, M (2014) "*Simulering av fuktmätning i betong med lågt vct*", Rapport TVBM-3177, Avd Byggnadsmaterial, LTH.

7 BILAGA (DETALJERAD PROVPLAN)

Platta 1 (2 veckor lagring)

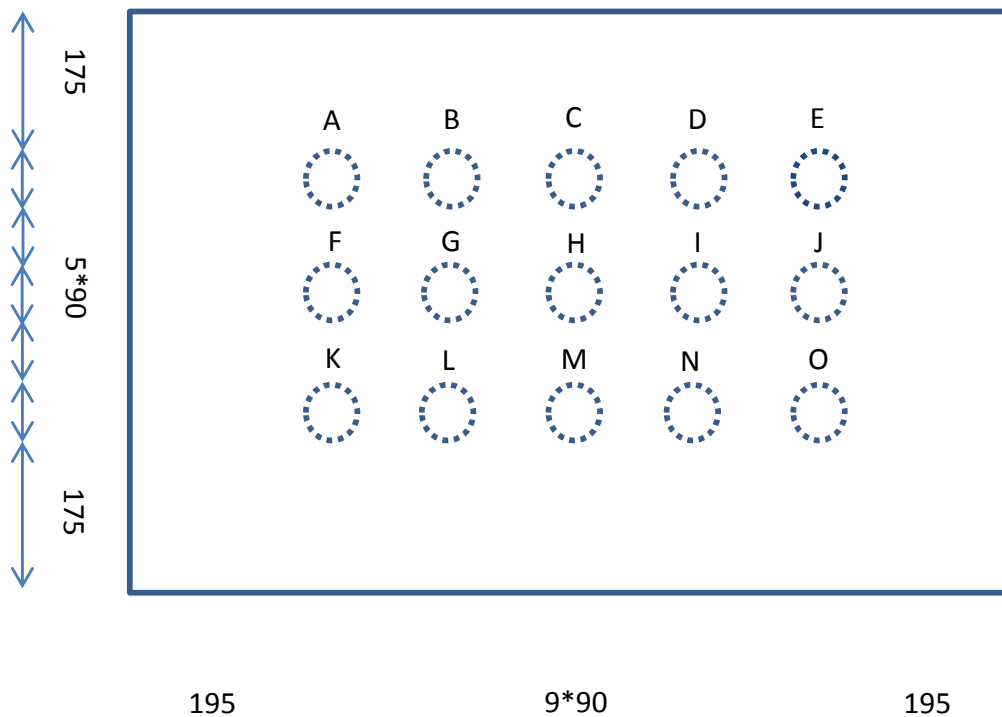


Gjutdag; 2012-11-19, Försegling; 2012-11-20, Provtagning; 2012-12-04

Prov	Labb	Mättdjup (mm)	Givare (Mätning-LTH)	Mättdjup (mm)	Kommentar, mätning start
1. A	AK	50-70	Vasiala	70-90	12-05
1. F	BM	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. K	FC	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. B	FC	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. G	AK	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. L	BM	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. C	BM	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. H	FC	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. M	AK	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. D	AK	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. I	BM	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. N	FC	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. E	FC	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. J	AK	-ll-	-ll-	-ll-	12-05
1. O	BM	-ll-	-ll-	-ll-	12-05

AK: AK Konsult, BM: Byggnadsmiljö, FC: FuktCom

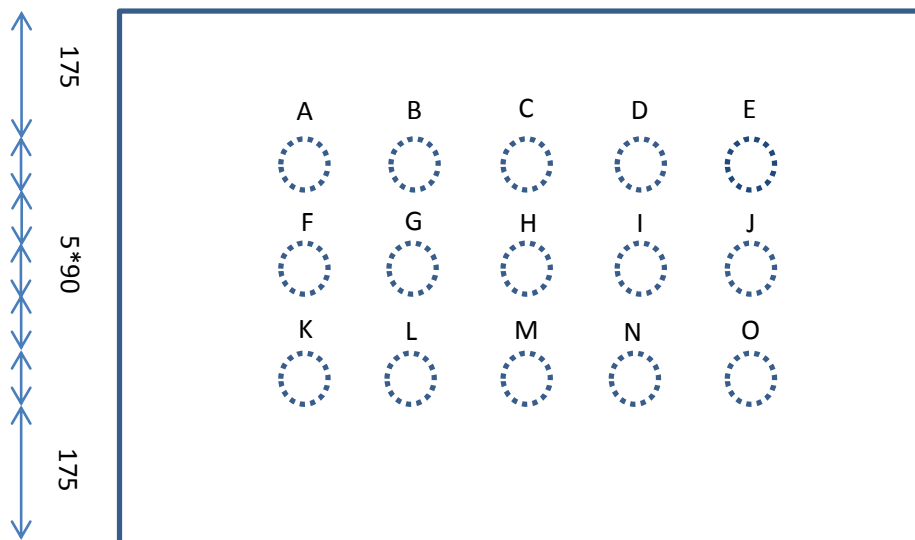
Platta 2 (2 veckor lagring)



Gjutdag; 2012-11-22, Försegling; 2012-11-23, Provtagning; 2012-12-07, Mät djup; 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
2. A	utgår	utgår	utgår	
2. F				
2. K				
2. B	Vaisala	Konditionering i 3 dygn	12-10	
2. G				
2. L				
2. C	Testo	Konditionering i 3 dygn	12-10	
2. H				
2. M				
2. D	Testo	Konditionering i 10 dygn	12-17	
2. I				
2. N				
2. E	Vaisala	Konditionering i 3 dygn i 5°C, montering av givare vid 6 dygn	12-13	
2. J				
2. O				

Platta 3 (2 veckor lagring)

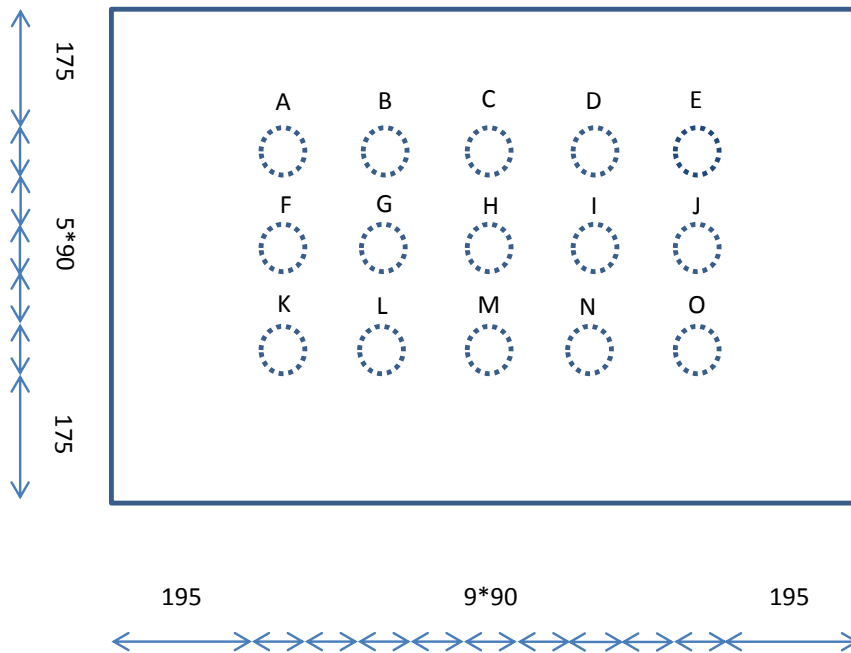


Gjutdag; 2012-11-26, Försegling; 2012-11-27, Provtagning; 2012-12-11, Mät djup 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
3. A	Vaisala	Halv provmängd, konditionering i 3 dygn	12-14	
3. F				
3. K				
3. B	Vaisala	Konditionering i 1 dygn	12-12	
3. G				
3. L				
3. C	Testo	Konditionering i 1 dygn	12-12	
3. H				
3. M				
3. D	Vaisala	Konditionering i 10 dygn	12-21	
3. I				
3. N				
3. E	Vaisala	Konditionering i 1 dygn i 5°C (montering av givare efter 1 dygn i 5°C)	12-12	
3. J				
3. O				

Platta 4 (RR-test LTH-Ext labb) (Ca 5 månader lagring)

- BML tar ut 2*15 st prov (2 st per provpunkt). Skickar 3*5 prov till externa labb och mäter själv på 6 st med Vaisala enligt RBK. Efter avslutad mätning skickar externa labb tillbaka prov till BML och vi mäter på dessa och parallellt mäter vi på BMLs 6 st egna prov en andra gång med Vaisala.
- Jämförelse för Testo med/utan tejp; 6 st prov tas ut och konditioneras i 3 dygn. 3 st Testo med tejp respektive 3 st utan tejp monteras och avläses efter 2 dygn (j-vikt uppnådd). Därefter demonteras givarna i 15 minuter (i 55 % RF) och återmonteras och avläses efter 2 dygn (j-vikt uppnådd). Demontering/montering upprepas 3 gånger.

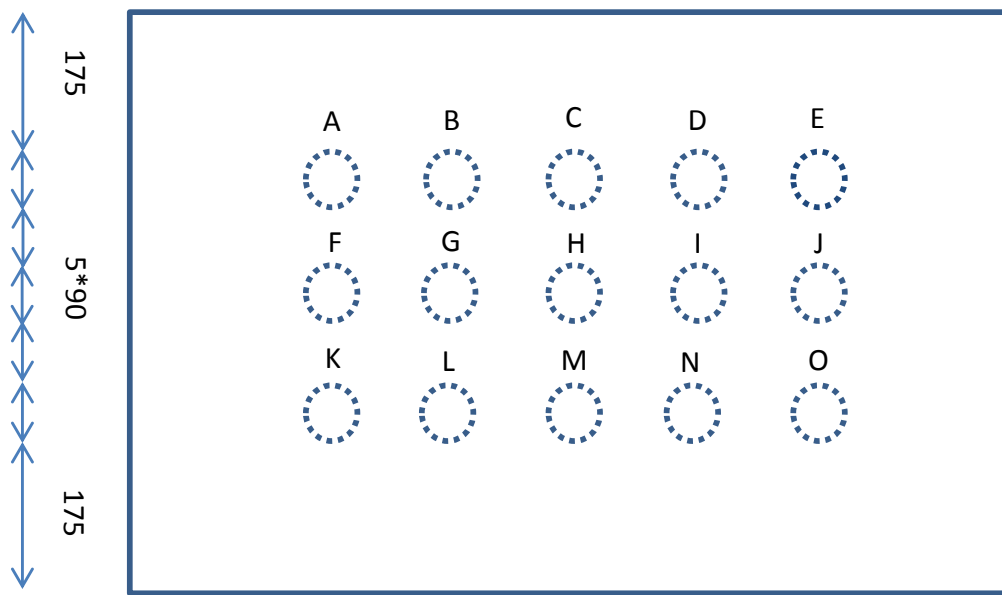


Gjutdag; 2012-11-29, Försegling; 2012-11-30, Provtagning; 2013-04-22 , Mät djup; 50-70 mm

Prov	Lab	Mät djup (mm)	Givare (Mätning-LTH)	Mät djup (mm)	Montering av givare	Kommentar
4. A	AK	50-70	Vaisala	50-70		
4. F	BM	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. K	FC	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. B	FC	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. G	AK	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. L	BM	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. C	BM	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. H	FC	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. M	AK	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. D	AK	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. I	BM	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. N	FC	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. E	FC	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. J	AK	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	
4. O	BM	-ll-	-ll-	-ll-	04-25	

AK: AK Konsult, BM: Byggnadsmiljö, FC: FuktCom

Platta 5 (jämför3) (2 månader lagring)



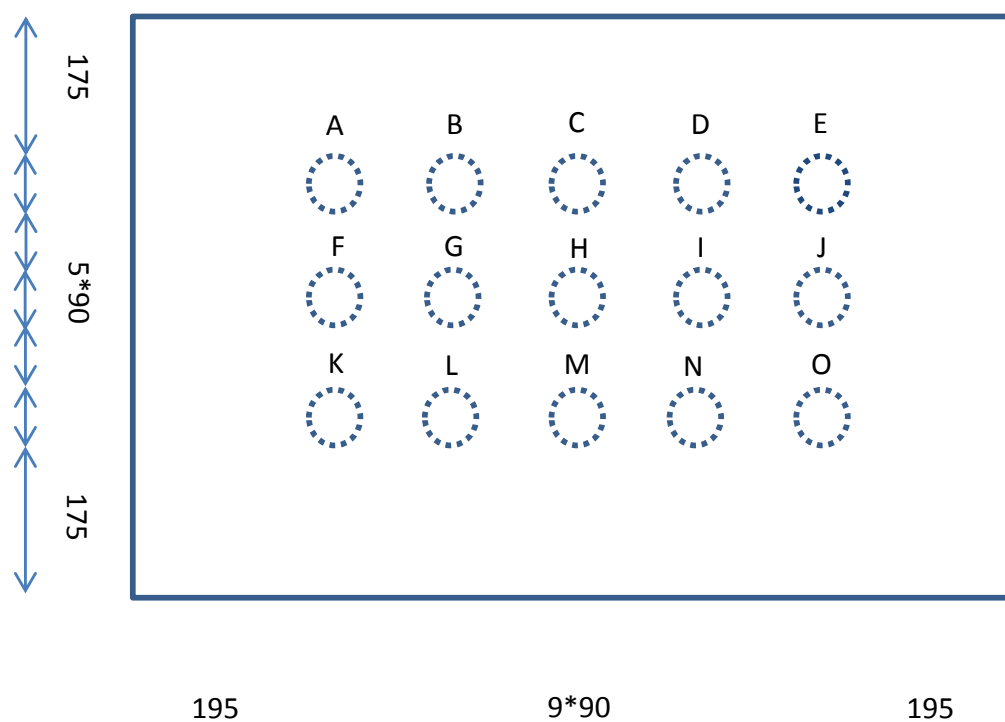
195
9*90
195

←—————>

Gjutdag; 2012-12-03, Försegling; 2012-12-04, Provtagning; 2013-01-30, Mät djup 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
5. A	Vaisala	Halv provmängd, konditionering i 3 dygn	02-02	
5. F				
5. K				
5. B	Vaisala	Konditionering i 1 dygn	01-31	
5. G				
5. L				
5. C	Testo	Konditionering i 1 dygn	01-31	
5. H				
5. M				
5. D	Vaisala	Konditionering i 10 dygn	02-09	
5. I				
5. N				
5. E	Vaisala	Konditionering i 1 dygn i 5°C montering av givare vid 3 dygn	02-02	
5. J				
5. O				

Platta 6 (jämför 1) (2 månader lagring)

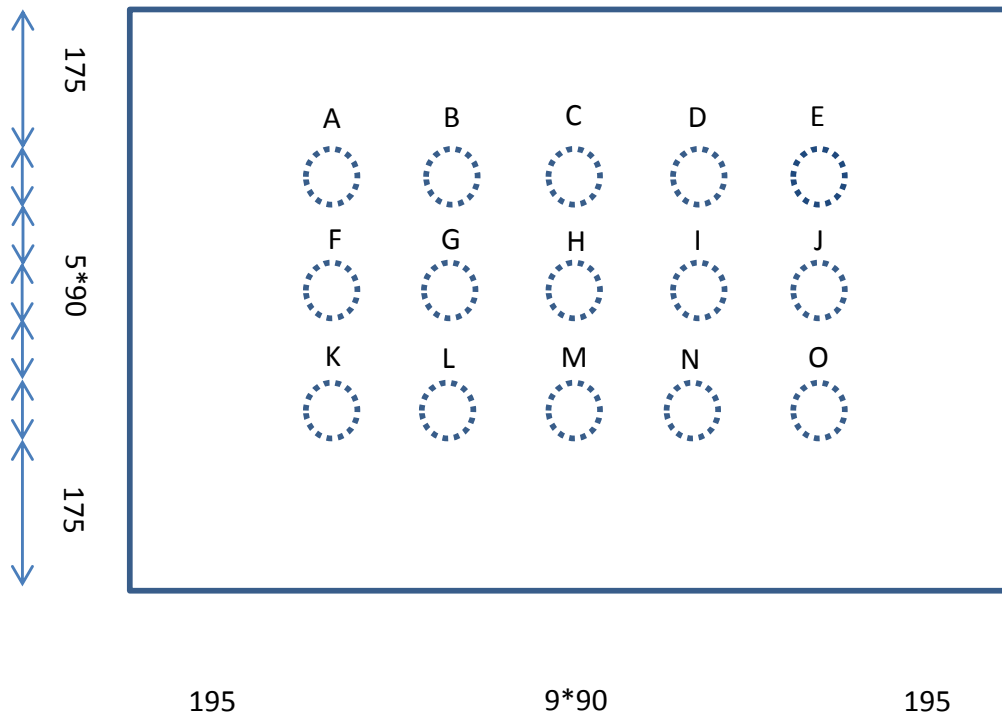


Gjutdag; 2012-12-19, Försegling; 2012-12-20, Provtagning; 2013-02-14

Prov	Labb	Mät djup (mm)	Givare (Mätning-LTH)	Mät djup (mm)	Montering av givare	Kommentar
6. A	AK	50-70	Vasiala	70-90	02-15	
6. F	BM	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. K	FC	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. B	FC	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. G	AK	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. L	BM	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. C	BM	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. H	FC	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. M	AK	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. D	AK	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. I	BM	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. N	FC	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. E	FC	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. J	AK	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	
6. O	BM	-ll-	-ll-	-ll-	02-15	

AK: AK Konsult, BM: Byggnadsmiljö, FC: FuktCom

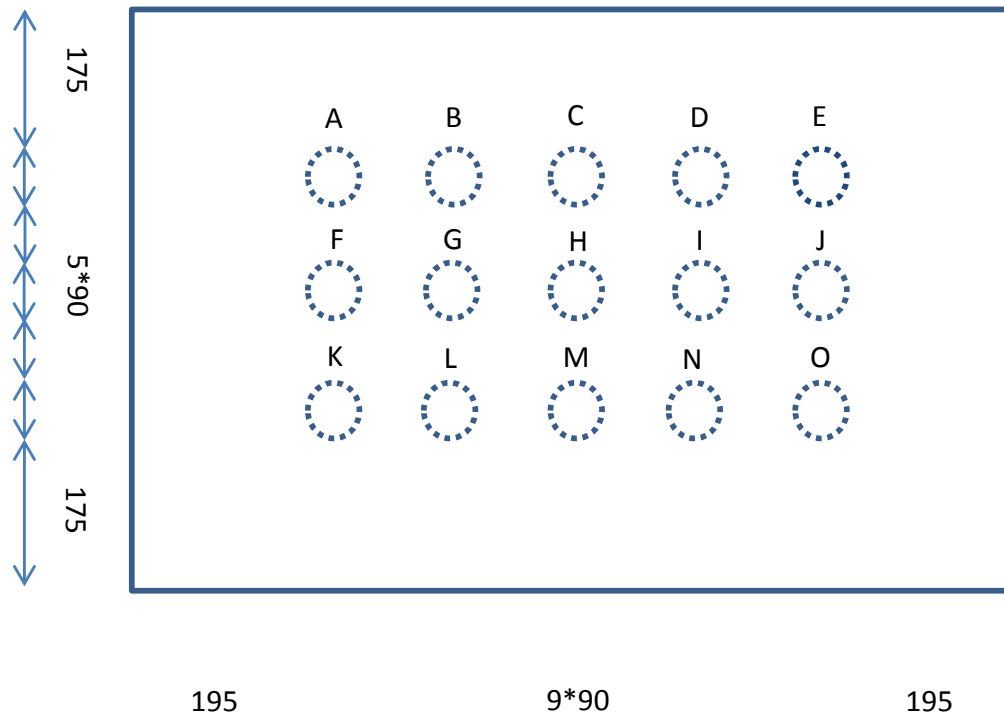
Platta 7 (2 veckor lagring)



Gjutdag; 2013-01-21, Försegling 2013-01-22, Provtagning; 2013-02-05, Mät djup 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
7. A	Vaisala	Konditionering i 1 dygn i 5°C, montering av givare vid 1 dygn	02-06	
7. F				
7. K				
7. B	Vaisala	Konditionering i 1 dygn i 5°C, montering av givare vid 3 dygn	02-08	
7. G				
7. L				
7. C	Vaisala	Konditionering i 1 dygn i 5°C, montering av givare vid 10 dygn	02-15	
7. H				
7. M				
7. D	Vaisala	Konditionering 1 d, sen upprepad montering vid 2d j-vikt, 55 % RF (samma givare, invänta j-vikt med rummet 15min och återmontera)	02-06	
7. I				
7. N				
7. E	Vaisala	Konditionering 1 d, sen flytt vid 2d j-vikt till nytt provrör lagrat i 55 % RF	02-06	
7. J				
7. O				

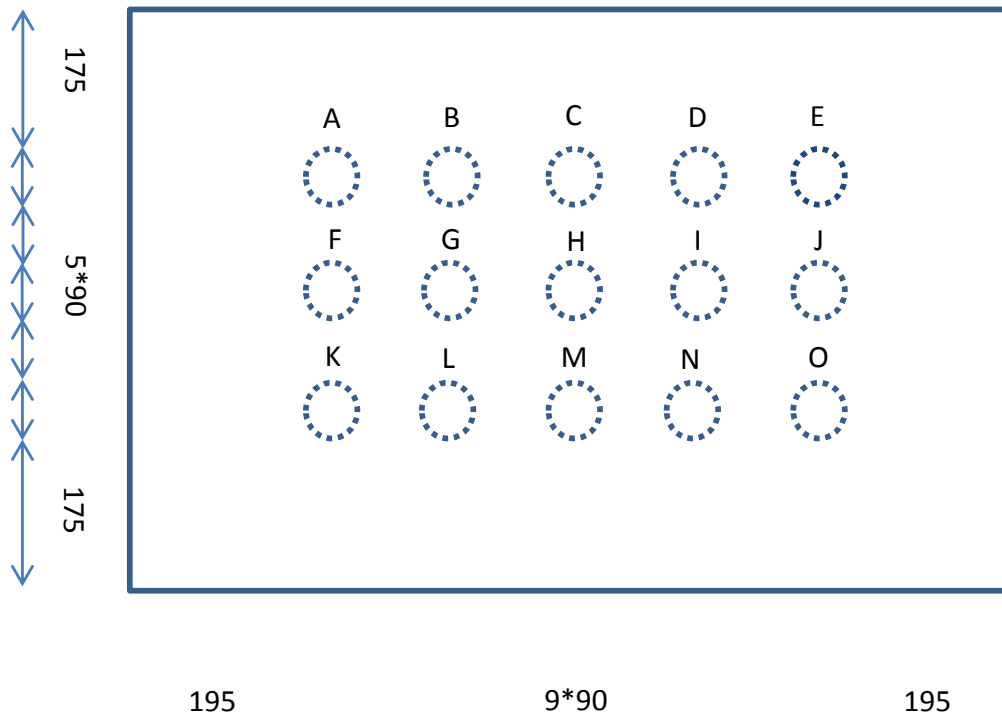
Platta 8 (2 månader lagring)



Gjutdag; 2013-01-24, Försegling 2013-01-25, Provtagning; 2013-03-22, Mät djup 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
8. A	Vaisala	Konditionering 1 d, sen upprepad montering efter 2d j-vikt, 55 % RF (samma givare, invänta j-vikt med rummet 15min och återmontera)	03-23	
8. F				
8. K				
8. B	Vaisala	Konditionering 1 d, sen upprepad montering efter 2d j-vikt, 95 % RF (samma givare, invänta j-vikt med rummet 15min och återmontera)	03-23	
8. G				
8. L				
8. C	Vaisala	Konditionering 1 d, sen flytt vid 2d j-vikt till nytt provrör lagrat i 55 % RF	03-23	
8. H				
8. M				
8. D	Vaisala	Konditionering 1 d, sen flytt vid 2d j-vikt till nytt provrör lagrat i 95 % RF	03-23	
8. I				
8. N				
8. E	Testo	Konditionering 1 d, sen upprepad montering efter 2d j-vikt, 55 % RF (samma givare, invänta j-vikt med rummet 15min och återmontera)	03-23	
8. J				
8. O				

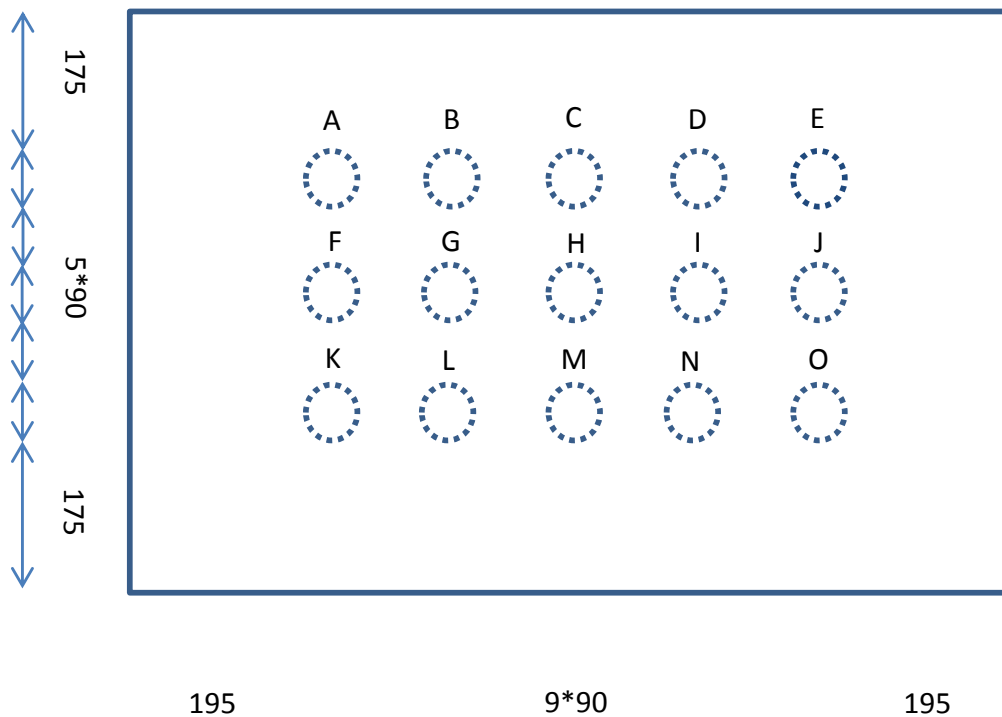
Platta 9 (2 veckor lagring)



Gjutdag; 2013-01-28, Försegling 2013-01-29, Provtagning; 2013-02-12, Mät djup 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
9. A	Testo	Halv provmängd, konditionering i 1 dygn	02-13	
9. F				
9. K				
9. B	Testo	Halv provmängd, konditionering i 3 dygn	02-15	
9. G				
9. L				
9. C	Testo	Halv provmängd, konditionering i 10 dygn	02-22	
9. H				
9. M				
9. D	Vaisala	Halv provmängd, 1 dygn konditionering	02-13	
9. I				
9. N				
9. E	Vaisala	Halv provmängd, 10 dygn konditionering	02-22	
9. J				
9. O				

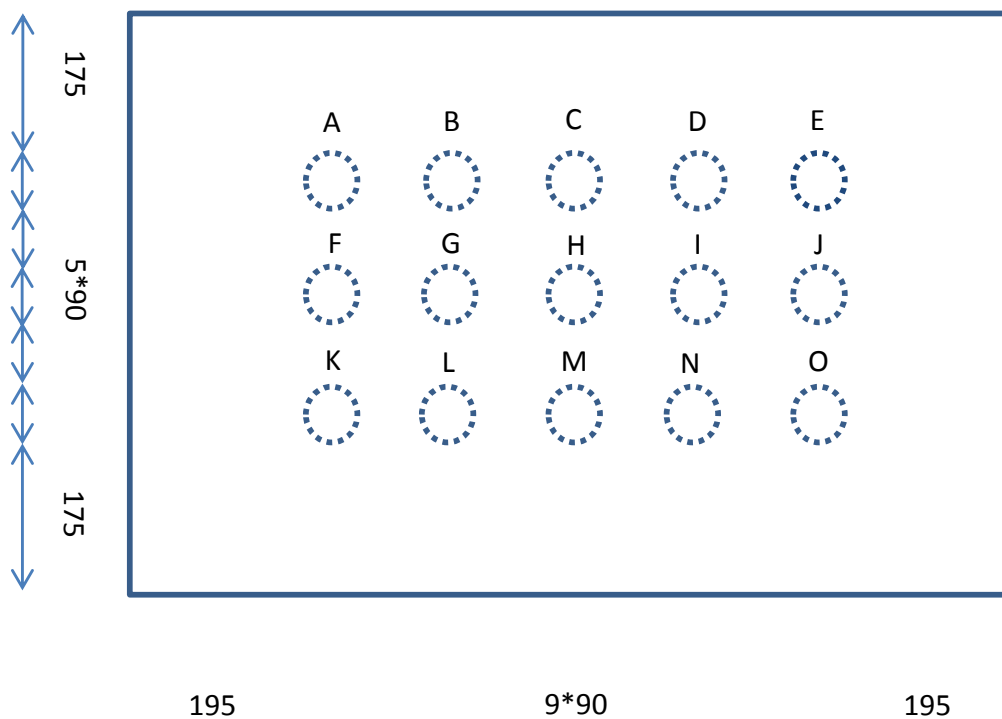
Platta 10 (2 veckor lagring)



Gjutdag; 2013-02-04, Försegling 2013-02-05, Provtagning; 2013-02-19, Mät djup 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
10. A	Vaisala	Konditionering 1 d, sen flytt vid 2d j-vikt till nytt provrör lagrat i 95 % RF	02-20	
10. F				
10. K				
10. B	Testo	Konditionering 1 d, sen upprepad montering efter 2d j-vikt, 55 % RF (samma givare, invänta j-vikt med rummet 15min och återmontera)	02-20	
10. G				
10. L				
10. C	Testo	Konditionering 1 d, sen flytt vid 2d j-vikt till nytt provrör lagrat i 55 % RF	02-20	
10. H				
10. M				
10. D	Testo	Konditionering 1 d, sen flytt vid 2d j-vikt till nytt provrör lagrat i 95 % RF	02-20	
10. I				
10. N				
10. E				
10. J				
10. O				

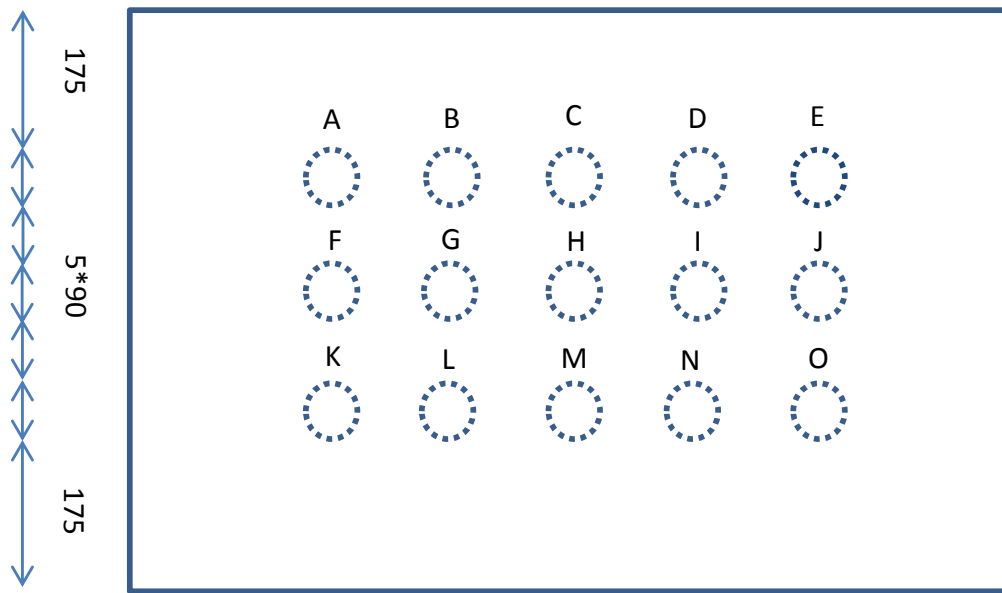
Platta 11 (2 månader lagring)



Gjutdag; 2013-04-08, Försegling 2013-04-02, Provtagning; 2013-05-28, Mät djup 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
11. A	Testo	Konditionering 1 d, sen upprepad montering efter 2d j-vikt, 95 % RF (samma givare, invänta j-vikt med rummet 15 min och återmontera)	05-29	
11. F				
11. K				
11. B	Testo	Konditionering 1 d, sen flytt vid 2d j-vikt till nytt provrör lagrat i 55 % RF	05-29	
11. G				
11. L				
11. C	Testo	Konditionering 1 d, sen flytt vid 2d j-vikt till nytt provrör lagrat i 95 % RF	05-29	
11. H				
11. M				
11. D	Vaisala	Halv provmängd, konditionering i 1 dygn	05-29	
11. I				
11. N				
11. E	Vaisala	Halv provmängd, konditionering i 10 dygn	06-07	
11. J				
11. O				

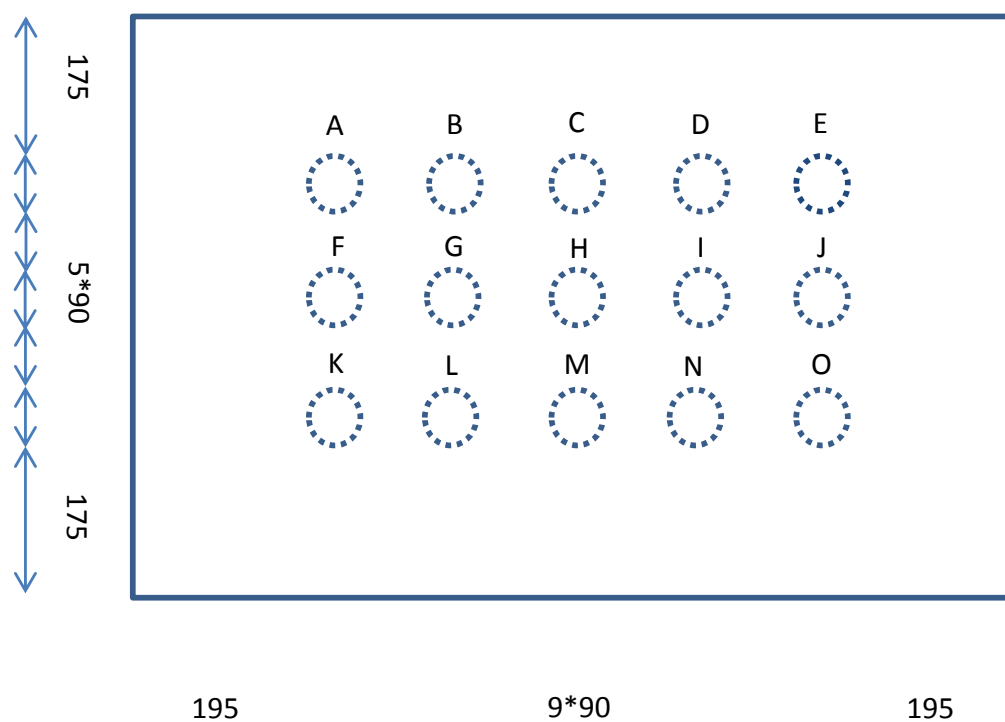
Platta 12 (2 månader lagring)



Gjutdag; 2013-02-18, Försegling 2013-02-19, Provtagning; 2013-04-16, Mät djup 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
12. A	Testo	Halv provmängd, konditionering i 1 dygn	04-17	
12. F				
12. K				
12. B	Testo	Halv provmängd, konditionering i 3 dygn	04-19	
12. G				
12. L				
12. C	Testo	Halv provmängd, konditionering i 10 dygn	04-26	
12. H				
12. M				
12. D	Testo	Konditionering i 1 dygn i 5°C montering av givare vid 1 dygn	04-17	
12. I				
12. N				
12. E	Testo	Konditionering i 1 dygn i 5°C montering av givare vid 3 dygn	04-17	
12. J				
12. O				

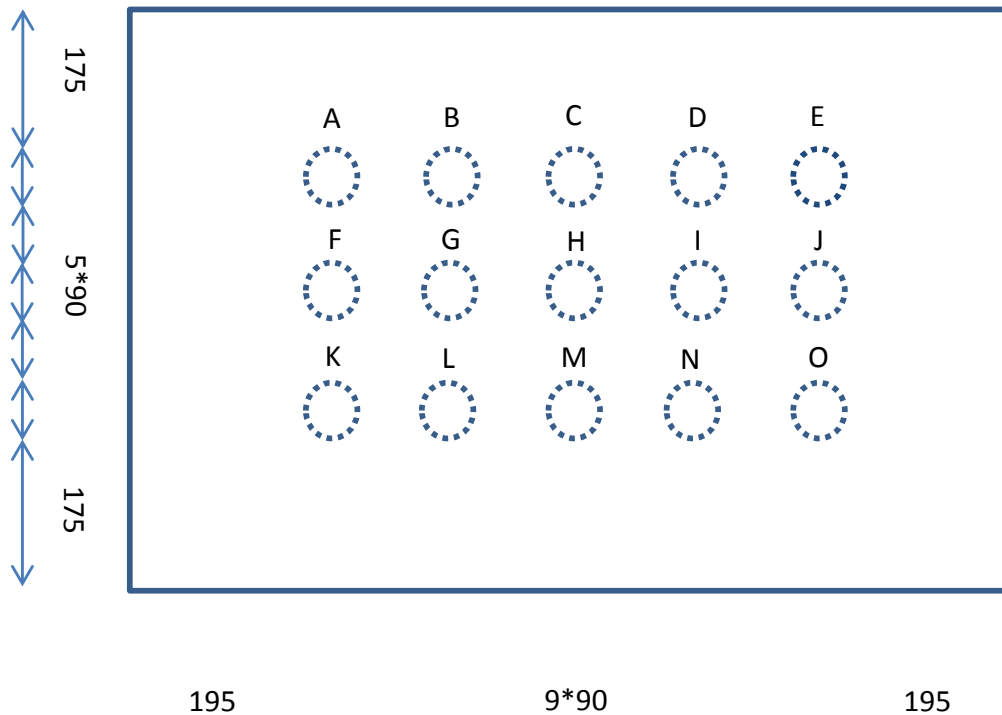
Platta 13 (2 veckor lagring)



Gjutdag; 2013-02-25, Försegling 2013-02-26, Provtagning; 2013-03-12, Mät djup 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
13. A	Testo	Konditionering 1 d, sen upprepad montering efter 2d j-vikt, 95 % RF (samma givare, invänta j-vikt med rummet 15min och återmontera)	03-13	
13. F				
13. K				
13. B	Vaisala	Konditionering 1 d, sen upprepad montering efter 2d j-vikt, 95 % RF (samma givare, invänta j-vikt med rummet 15min och återmontera)	03-13	
13. G				
13. L				
13. C	Testo	Konditionering i 1 dygn i 5°C montering av givare vid 1 dygn	03-13	
13. H				
13. M				
13. D	Testo	Konditionering i 1 dygn i 5°C montering av givare vid 3 dygn	03-13	
13. I				
13. N				
13. E				
13. J				
13. O				

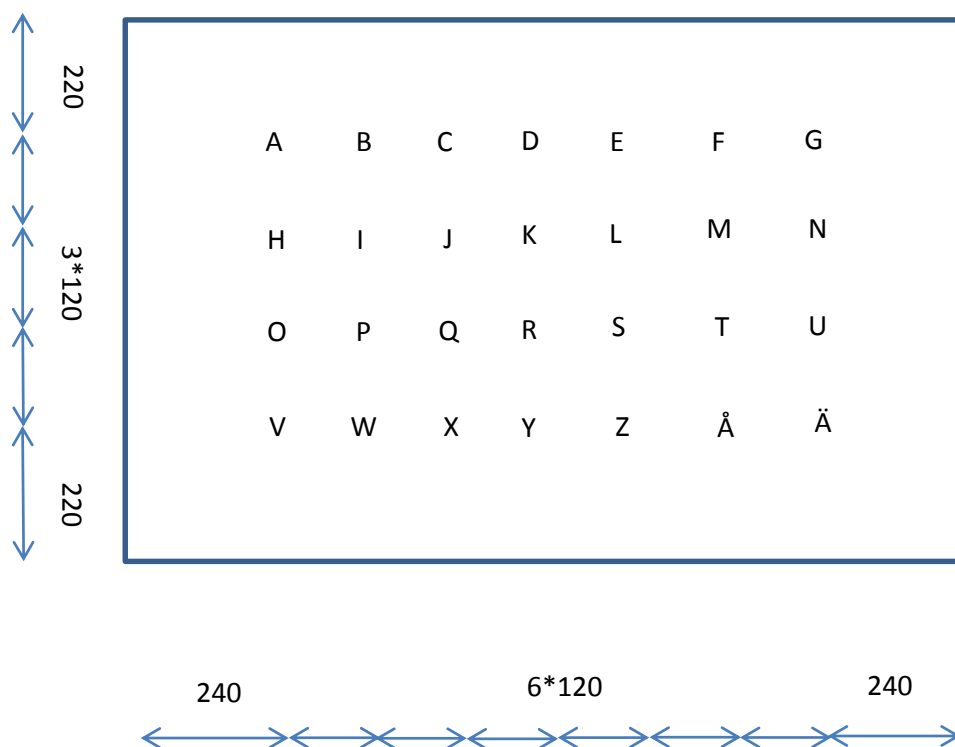
Platta 14 (2 månader lagring)



Gjutdag; 2013-03-04, Försegling 2013-03-05, Provtagning; 2013-04-30, Mät djup 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
14. A	Vaisala	Konditionering i 1 dygn i 5°C, montering av givare vid 1 dygn	05-01	
14. F				
14. K				
14. B	Vaisala	Konditionering i 3 dygn	05-03	
14. G				
14. L				
14. C	Testo	Konditionering i 3 dygn	05-03	
14. H				
14. M				
14. D	Testo	Konditionering i 10 dygn	05-10	
14. I				
14. N				
14. E	Vaisala	Konditionering i 1 dygn i 5°C, montering av givare vid 10 dygn	05-10	
14. J				
14. O				

Platta 16 (2 veckor lagring, borrhålmätning)

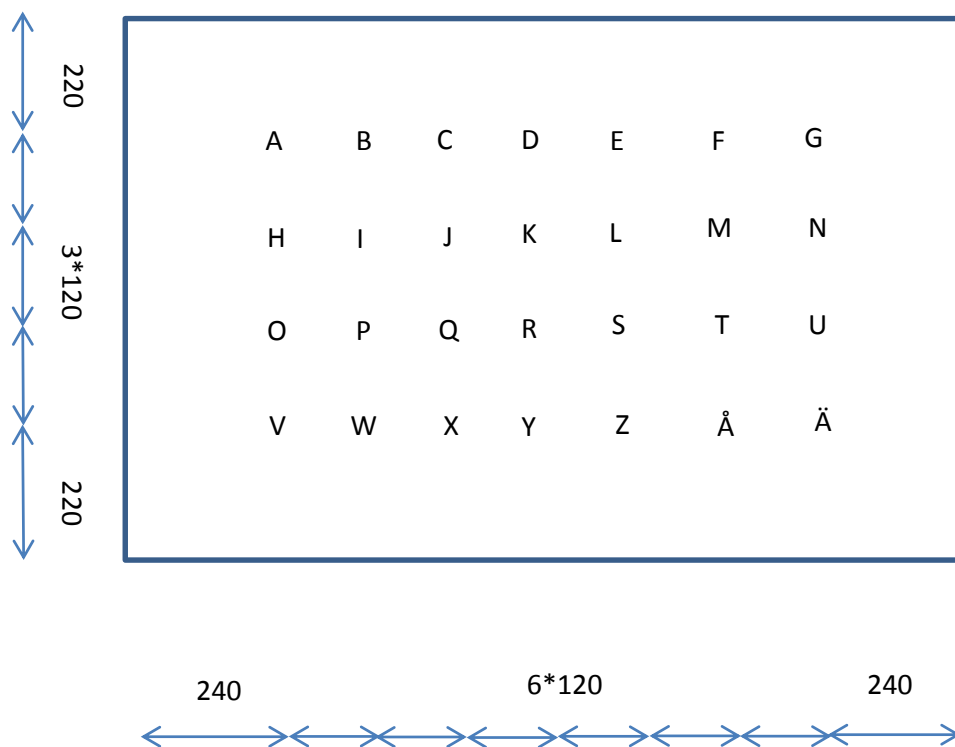


Gjutdag; 2013-03-21, Försegling 2013-03-22, Borrning; 2013-04-05, Mät djup 60 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
16. A	HumiGuard	Konditionering i 1 dygn	04-06	
16. H				
16. O				
16. V	HumiGuard	Konditionering i 3 dygn	04-08	
16. B				
16. I				
16. P	HumiGuard	Konditionering i 10 dygn	04-15	
16. W				
16. C				
16. J	Testo	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 55 % RF (samma givare, lagras i 55 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	04-08	
16. Q				
16. X				

16. D	Testo	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 95 % RF (samma givare, lagras i 95 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	04-08	
16. K				
16. R				
16. Y	Vaisala	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 55 % RF (samma givare, lagras i 55 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	04-08	
16. E				
16. L				
16. S	Vaisala	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 95 % RF (samma givare, lagras i 95 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	04-08	
16. Z				
16. F				
16. M	HumiGuard	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 55 % RF (samma givare, lagras i 75 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	04-08	
16. T				
16. Å				
16. G	HumiGuard	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 95 % RF (samma givare, lagras i 95 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	04-08	
16. N				
16. U				

Platta 17 (2 månader lagring, borrhålsmätning)

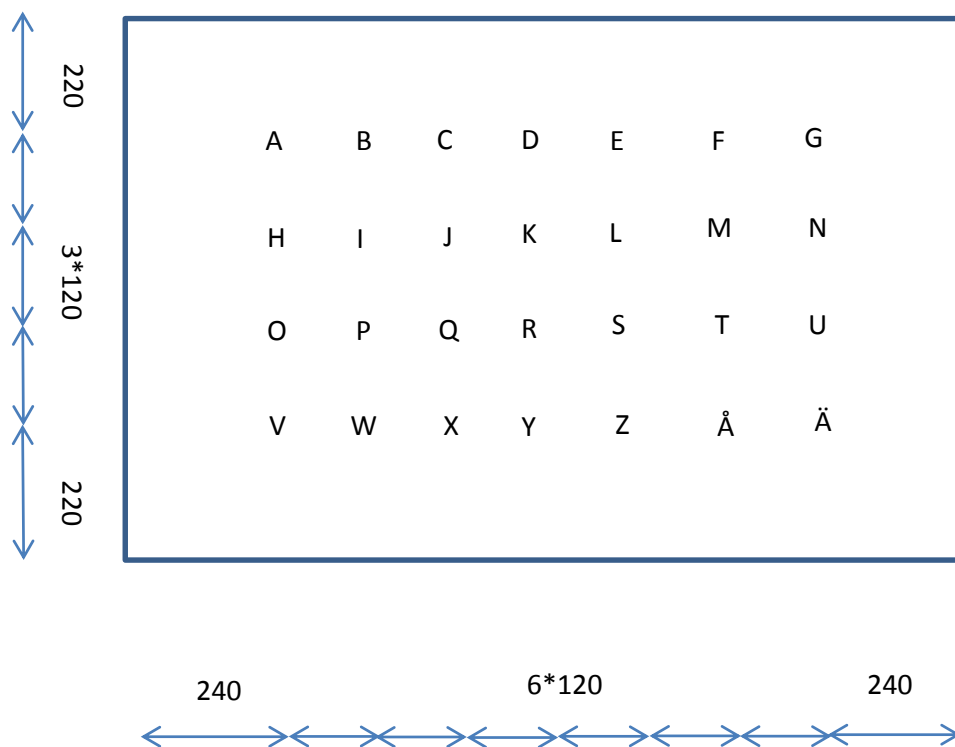


Gjutdag; 2013-03-25, Försegling 2013-03-26, Borrning; 2013-05-21, Mät djup 60 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
17. A	Testo	Konditionering i 0 dygn (montering direkt efter borrning)	05-21	
17. H				
17. O				
17. V	Testo	Konditionering i 1 dygn	05-22	
17. B				
17. I				
17. P	Testo	Konditionering i 3 dygn	05-24	
17. W				
17. C				
17. J	Testo	Konditionering i 10 dygn	05-31	
17. Q				
17. X				
17. D	Vaisala	Konditionering i 0 dygn (montering direkt efter borrning)	05-21	
17. K				
17. R				
17. Y	Vaisala	Konditionering i 1 dygn	05-22	
17. E				
17. L				
17. S	Vaisala	Konditionering i 3 dygn	05-24	
17. Z				

17. F				
17. M	Vaisala	Konditionering i 10 dygn	05-31	
17. T				
17. Å				
17. G	HumiGuard	Konditionering i 0 dygn (montering direkt efter borrning)	05-21	
17. N				
17. U				

Platta 18 (2 månader lagring, borrhålsmätning)

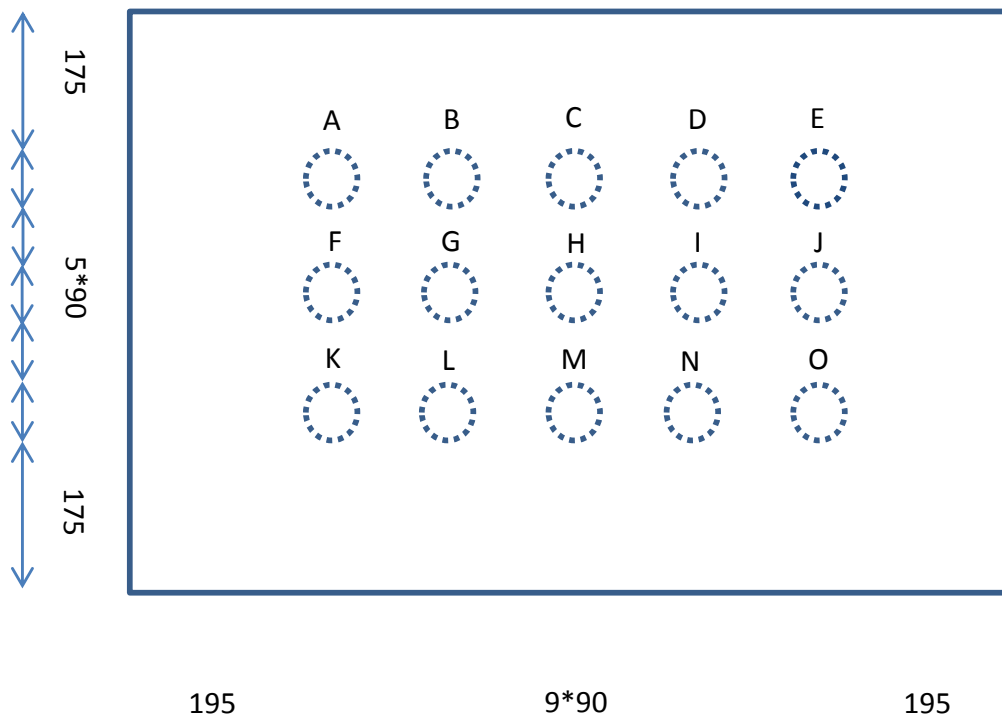


Gjutdag; 2013-03-28, Försegling 2013-03-29, Borrning; 2013-05-24, Mät djup 60 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
18. A	HumiGuard	Konditionering i 1 dygn	05-25	
18. H				
18. O				
18. V	HumiGuard	Konditionering i 3 dygn	05-27	
18. B				
18. I				
18. P	HumiGuard	Konditionering i 10 dygn	06-03	
18. W				
18. C				
18. J	Testo	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 55 % RF (samma givare, lagras i 55 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	05-27	
18. Q				
18. X				

18. D	Testo	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 95 % RF (samma givare, lagras i 95 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	05-27	
18. K				
18. R				
18. Y	Vaisala	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 55 % RF (samma givare, lagras i 55 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	05-27	
18. E				
18. L				
18. S	Vaisala	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 95 % RF (samma givare, lagras i 95 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	05-27	
18. Z				
18. F				
18. M	HumiGuard	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 55 % RF (samma givare, lagras i 75 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	05-27	
18. T				
18. Å				
18. G	HumiGuard	Konditionering 3 d, sen upprepad montering, demontering med resp varaktighet 2 d, 95 % RF (samma givare, lagras i 95 % RF före montering). Max RF förändring 0.1 %/dygn	05-27	
18. N				
18. U				

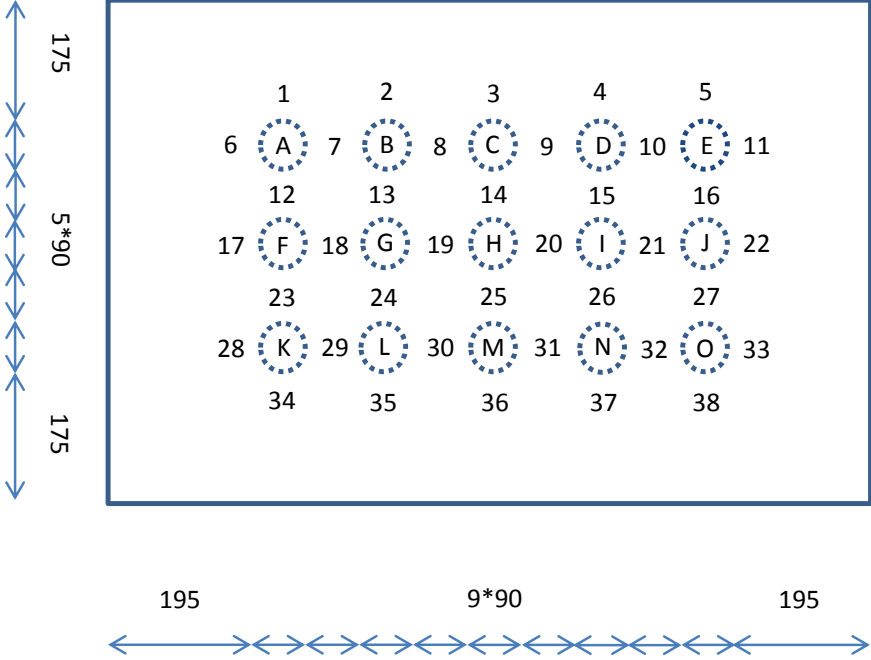
Platta 19 (2 veckor lagring)



Gjutdag; 2013-04-22, Försegling 2013-04-23, Provtagning; 2013-05-06, Mät djup 50-70 mm

Prov	Givare		Första åtgärd	
19. A	Testo	Konditionering i 1 dygn, montering av givare och avläsning i minst 10 dygn	05-03	
19. F				
19. K				
19. B	Vaisala (handavläst)	Konditionering i 1 dygn, montering av givare och avläsning i minst 10 dygn	05-03	
19. G				
19. L				
19. C	Vaisala (loggad)	Konditionering i 1 dygn, montering av givare och avläsning i minst 10 dygn	05-03	
19. H				
19. M				
19. D				
19. I				
19. N				
19. E				
19. J				
19. O				

Platta 15 (10 veckors lagring, jämförelse mellan uttaget prov och borrhålsmätning)



Gjutdag; 2013-04-11, Försegling 2013-04-12, Borrning; 2013-11-22, Mät djup 60 mm