

Fuktmätning under betongens uttorkningsskede

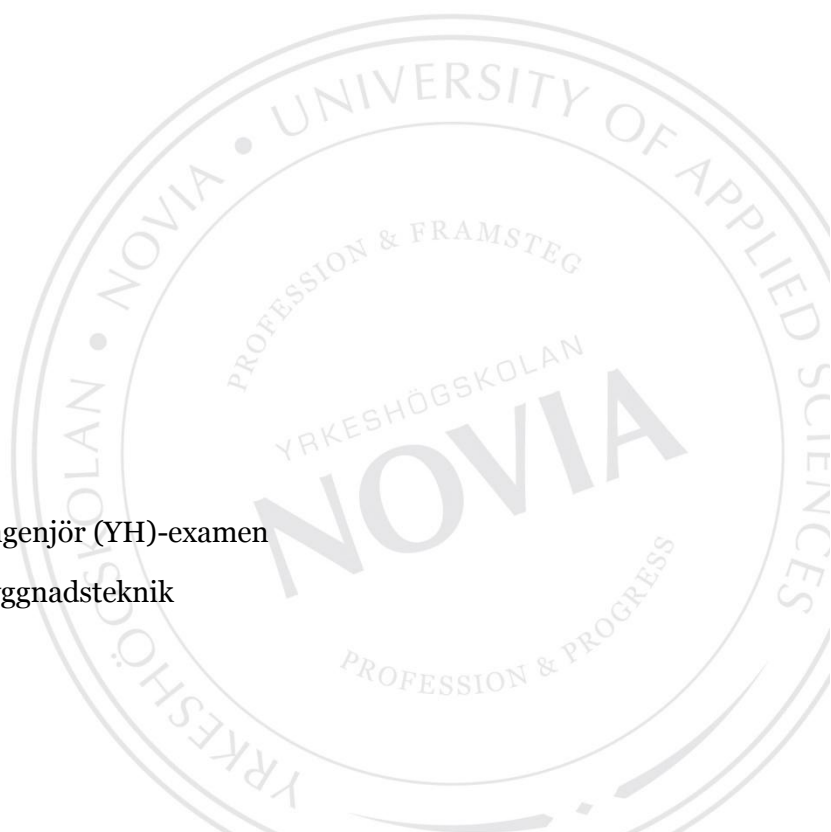
Jämförelse mellan olika fuktmätningmetoder

Lisette Westlin

Examensarbete för byggnadsingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik

Vasa 2013



EXAMENSARBETE

Författare: Lisette Westlin
Utbildningsprogram och ort: Byggnadsteknik Vasa
Inriktningalternativ: Byggnadsproduktion
Handledare: Anders Borg

Titel: *Fuktmätning under betongens uttorkningsskede – Jämförelse mellan olika fuktmätningssmetoder*

Datum 26.03.2013

Sidantal 53

Bilagor 3

Abstrakt

Syftet med detta examensarbete är att jämföra olika fuktmätningssmetoder under betongens uttorkningsskede, för att få fram vilka mätmetoder som är de mest pålitliga. Fuktmätningarna har gått ut på att mäta med olika fuktmätningssmetoder i samma betongplatta och slutligen jämföra mätresultaten. Utgående från de värden som fått har dragits slutsatser kring de olika fuktmätningssmetodernas pålitlighet.

Fuktmätningssutrustningen som används bör vara kalibrerad och fungera korrekt för att undvika mätfel. I examensarbetet beskrivs hur man själv enligt tillverkarens anvisningar kalibrerar fuktmätningssprober och kontrollerar att de blivit rätt kalibrerade. Resultatet av dessa jämförelsemätningar har gett en uppfattning om variationerna mellan betongens olika fuktmätningssmetoder och en tankeställare kring varje methods mätosäkerhet. Mätvärdena skilde sig påtagligt beroende på vilken fuktmätningssmetod man använde sig av.

Språk: svenska Nyckelord: betongens uttorkning, fuktmätningssmetoder, kalibrering, Simap

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Lisette Westlin
Koulutusohjelma ja paikkakunta: Rakennustekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Rakennustuotanto
Ohjaaja: Anders Borg

Nimike: *Kosteusmittaus betonin kuivumisvaiheessa – Erilaisien kosteusmittausmenetelmien vertailua*

Päivämäärä 26.03.2013

Sivumäärä 53

Liitteet 3

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on verrata erilaisia kosteusmittausmenetelmiä betonin kuivumisvaiheessa, jotta saadaan luotettavimmat mittausmenetelmät esille. Kosteusmittaukset on tehty erilaisilla kosteusmittausmenetelmillä samassa betonilaatassa ja lopuksi on verrattu mittaustuloksia. Tuloksien perusteella on tehty johtopäätöstä kosteusmittausmenetelmien luotettavuudesta.

Kosteusmittauslaitteiden, joita käytetään, täytyy olla kalibroituja ja toimia oikein jotta voidaan välttää mittausvirheitä. Opinnäytetyössä kuvataan miten voidaan itse valmistajan ohjeiden mukaan kalibroida kosteusmittausanturit ja tarkistaa, että kalibrointi on oikeasti tehty. Tulos kosteusmittausmenetelmien vertailusta on antanut käsityksen betonin erilaisten mittausmenetelmien vaihtelusta ja ajattelemisen aiheita jokaisen menetelmän mittausepävarmuudesta. Mittausarvot vaihtelivat huomattavasti käytetyistä kosteusmittausmenetelmistä riippuen.

Kieli: ruotsi Avainsanat: betonin kuivuminen, kosteusmittausmenetelmät, kalibrointi, Simap

BACHELOR'S THESIS

Author: Lisette Westlin
Degree Programme: Construction Engineering
Specialization: Building Production
Supervisor: Anders Borg

Title: *Moisture measurements during concrete's drying stages – A comparison between different types of moisture measurement methods*

Date 26.03.2013

Number of pages 53

Appendices 3

Summary

The purpose of this Bachelor's thesis is to compare different types of moisture measurement methods during the drying stages of concrete to find out which methods that are the most reliable ones. The moisture measurements included measuring with several moisture measuring methods in the same concrete slab and finally comparing the measurement results. Based on the results, a conclusion has been made about the reliability of the moisture measurement methods.

The moisture measurement equipment that is used has to be calibrated and it has to work properly to avoid measurement mistakes. The Bachelor's thesis describes how to calibrate moisture measurement probes yourself by following the manufacturer's instructions and how to check afterwards if the probes were calibrated correctly. The result of the comparison of measurement methods has given an idea of the variation between the different moisture measurement methods used in concrete and a food for thought regarding the measurement uncertainty of every method. The measured values differed significantly depending on which moisture measurement method that had been used.

Language: Swedish

Key words: drying of concrete, moisture measurement methods, calibration, Simap

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Uppdragsgivaren	1
1.2	Målsättningar	1
1.3	Förklaringar av förkortningar och begrepp.....	2
2	Fuktmätning och utrustning	5
2.1	Fuktmätning i betong	5
2.2	Simap	6
2.3	Gjutning av betongplattorna	7
2.4	Uttorkning av betongens byggfukt	8
2.5	Åtgärder vid långa torktider för betongplattor.....	9
2.6	Fuktens påverkan på inomhusklimatet.....	9
3	Olika typer av fuktmätare.....	10
3.1	Gann Hydromette RTU 600.....	11
3.2	Vaisala HM44-set	12
3.3	Fuktmätarnas kalibrering och feltolerans.....	13
4	Kalibrering av prober med fuktkalibrator Vaisala HMK15	14
4.1	Fuktkalibrator Vaisala HMK15	15
4.2	Färdigställande av saltlösningar.....	16
4.3	Viktig information före start av kalibrering.....	20
4.4	Utförande av kalibrering	21
4.5	Kalibreringsresultat och resultattolkning.....	27
5	Jämförda mätmetoder.....	29
5.1	Ytfuktmätning med Gann	29
5.2	Borrhålsfuktmätning med Vaisalaprob i 16 mm hål.....	30
5.3	Fuktmätning med provbit.....	33
5.4	Uppföljning av torktiden med Simap.....	36
6	Mätresultat.....	38
6.1	Betongplatta 1: den oslipade halvan (vct 0,45).....	38
6.2	Betongplatta 1: den slipade halvan (vct 0,45).....	40
6.3	Betongplatta 3: slipad (vct 0,7).....	42
6.4	Betongplatta 4: slipad (vct 0,6).....	43
6.5	Graf över betongens uttorkning med Simap	45

7	Resultattolkning	47
7.1	Ytfuktmätning med Gann	47
7.2	Borrhålsfuktmätning och fuktmätning med provbit	47
7.3	Uppföljning av torktiden med Simap.....	48
7.4	Mätfel.....	48
8	Slutsatser och kommentarer	48
8.1	Slutsatser.....	49
8.2	Förebyggande åtgärder för hur mätfel undviks.....	49
8.3	Förslag till fortsatt forskning	50
8.4	Diskussion.....	50
9	Källförteckning.....	52

Bilaga 1. Uträkning av fukttinnehåll i stenmaterial

Bilaga 2. Uträkning av betongens delmaterialmängder

Bilaga 3. Kalibreringsblankett

1 Inledning

Fuktmätning är idag ett mycket aktuellt ämne. De senaste åren har den finländska sommaren varit allt annat än solig, vilket har orsakat att byggnader som aldrig förr haft fukt- eller mögelproblem har blivit angripna. Detta på grund av den ständiga regnpåfrestningen och den höga relativa luftfuktigheten. I tidningar kan läsas att det idag byggs så att fuktskador uppkommer i byggnader i ett senare skede, för att tillräckligt långa torktider inte har beaktats eller för att det har slarvats med övertäckning av element vid montering när det har regnat.

Genom att beställa fuktkartläggning av den egna byggnaden vid misstanke om fukt- eller mögelskada och utföra regelbundna fuktmätningar på byggarbetsplatsen under byggskedet, kan man ta itu med problemen som uppstått redan i ett tidigt skede innan skadorna hunnit bli alltför stora. Mitt examensarbete handlar om att få en bättre inblick i tillförlitligheten hos olika typer av fuktmätare. Arbetet behandlar också olika fuktmätningssmetoder, samt vikten av att utföra en fuktmätning rätt.

1.1 Uppdragsgivaren

Detta examensarbets beställare och uppdragsgivare är Ingenjörbyrå Kronqvist. Under Ingenjörbyrå Kronqvist finns en avdelning vid namn Detecta, som kartlägger och undersöker fukt- och mögelskadade byggnader. Eftersom man arbetar med dessa problem dagligen, är personalen på Detecta målmedvetna att utvecklas inom området och hålla sina kunskaper uppdaterade. Marcus Jansson, VD vid Ingenjörbyrå Kronqvist, har fungerat som min handledare. Anders Borg har varit min handledare från skolans sida.

1.2 Målsättningar

Examensarbetets målsättning är att man ska få en bättre inblick i olika fuktmätningssmetoder för betong, hur dessa påverkas av yttre faktorer och ifall olika mätmetoder ger samma mätresultat. Genom användningen av beräkningstabeller för betongens ungefärliga uttorkningstid i kombination med uppföljning av uttorkningstiden

genom mätning, får man fram specifika egenskaper för betongplattor med olika vattencementtal. Vid fuktmätning sätts stor vikt på att mätinstrumenten som används ska vara kalibrerade. Alla som vill lära sig hur man kalibrerar prover, ska klara av att utföra en kalibrering baserat på arbetsbeskrivningen i kalibreringskapitlet.

Forskningsfrågor som examensarbetet tar fasta på är följande:

- Finns det en märkbar skillnad i betongens uttorkningshastighet utgående från om betongens cementlim slipas bort eller lämnas kvar? Hur stor är denna skillnad i så fall?
- Undersökning ifall Simap fuktmätningssutrustning är ett möjligt alternativ till en ny fuktmätningssmetod eller om den endast lämpar sig för uppföljning av betongens uttorkning?
- Vilka för- och nackdelar har de olika fuktmätningssmetoderna i jämförelse med varandra?
- Hur motsvarar uttorkningstiden för betong teoretiskt beräknad uttorkningstid?

1.3 Förklaringar av förkortningar och begrepp

För att få en bättre förståelse och för att underlätta läsandet, redovisar jag här korta förklaringar till de förkortningar och begrepp som har använts.

% RH

Den relativa fuktigheten angiven i procent. (Eng. Relative Humidity). Innebär förhållandet mellan den aktuella ånghalten och mättnadsånghalten.

Andersen sampler

En anordning som samlar mikrober från inomhusluften genom en serie filter, som slutligen deponerar de insamlade mikroberna på agarplattor. (Figur 1)



Figur 1. Andersen sampler.

Cementlim

Cement + vatten. Detta kan sägas utgöra betongens bindemedel.

Formaldehydmission

En färglös gas med stickande lukt som verkar starkt irriterande på ögon och luftvägar, avges från ett fuktskadat byggnadsmaterial exempelvis spånskivor och MDF-skivor.

Fuktkvot

Mått på hur mycket fukt ett material innehåller. Fuktkvoten är förångningsbara vattnets vikt delat på materialets torra vikt. Brukar återges med procent (%) som enhet. Kan även kallas materialets fukttinnehåll.

HMI41

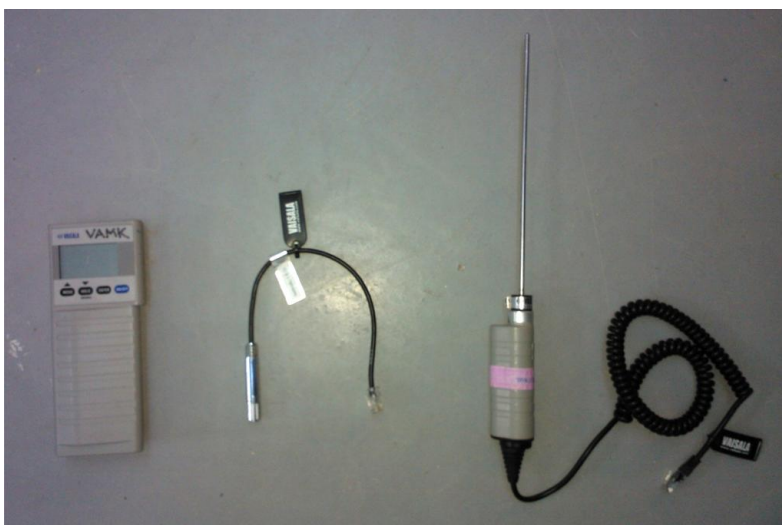
Vaisala indikator (figur 2). Hit kopplas mätgivare HMP42 eller mätprob HMP44 för avläsning.

HMP42

Vaisala mätgivare (figur 2). Mäter luftens eller konstruktionens relativa fuktighet och temperatur. Mätgivaren sätts in i ett hål med diametern 5 mm.

HMP44

Vaisala mätprob (figur 2). Mäter betongens relativa fuktighet och temperatur. Mätproben sätts in i ett hål med diametern 16 mm.



Figur 2. Vaisalas fuktmätningssinstrument. Längst till vänster indikator HMI41, i mitten mätprob HMP44 och längst till höger mätgivare HMP42.

Kapillärkraft

Fenomen som innebär att en vätska stiger upp eller pressas ner i porösa material. Kraften förorsakas av förhållandet mellan vätskans dragningskraft mot kapillärytan (adhesion) och de krafter som verkar mellan vätskans molekyler (kohesion).

Mikrober

Mikroorganismer som i små skaror är osynliga för ögat, men som vid ökning till miljontals kan de ses med blotta ögat. Mikrobers möjlighet att föröka sig är beroende av flera faktorer, bland annat deras livsmiljö, fukthalt, temperatur och syretillgång. Exempel på mikrober är mögelsvamp, strålsvamp och rötsvamp.

Mättad saltlösning

En lösning som innehåller den största mängden salt som man kan få att lösa upp sig i vätskan.

Prob

Prob eller mätprob är samma sak som Vaisala HMP44 som beskrivs ovan.

Torknings – vägningsmetoden

Ett materialprov vägs vått och torkas efteråt i en värmeugn i 105° och sen vägs det när det har torkat. Som resultat fås materialets egentliga fukthalt i viktprocent.

Vattenbindemedelstal (vbt)

Viktkvoten mellan vattenmängd och total bindemedelsmängd. Vbt är enhetslöst.

$$vbt = \frac{W}{C + \beta * D}$$

där

W = är mängden blandningsvatten [kg]

C = mängden cement [kg]

D = mängden tillsatsmaterial [kg]

β = en ”effektivitetsfaktor” (0 – 1).

vct

Betongens vattencementtal är förhållandet mellan vattenhalten [kg] och cementhalten [kg] i betongen. Vattencementtalet är enhetslöst.

2 Fuktmätning och utrustning

Betong är ett poröst material som strävar efter hygroskopisk jämvikt med sin omgivning. Med det menas betongens förmåga att avge eller uppta fukt från luften, tills betongens relativa fukthalt är den samma som omgivningens. Betongens relativa fukthalt innebär den relativa luftfuktigheten i den porösa betongens porer.

Olika betongkvaliteter har olika porstruktur, vilket gör att deras förmåga att innehålla fukt varierar. Två olika betongsorter kan ha samma relativa luftfuktighet men olika fukthalt i viktprocent. Om man som mätresultat vill få betongens relativa luftfuktighet, bör man utföra fuktmätningarna genom borrhålmätning eller genom provbitsmätning i provrör. Är man däremot ute efter fukthalten i viktprocent, bör mätningen utföras genom torkningsvägningsmetoden.¹

2.1 Fuktmätning i betong

Betongkonstruktioners uttorkningshastigheter är beroende av många faktorer, därför kan man endast genom utförandet av fuktmätning bestämma ifall en betongkonstruktion har torkat tillräckligt eller inte. Fuktmätning i betong görs både i befintliga byggnader och under byggtiden. Vid nyproduktion bör fuktmätning utföras i god tid innan beläggningsbeslut. Fuktmätning görs till största delen på de betongkonstruktioner som ytbeläggs. Fuktkartläggning utförs i vattenskadade fastigheter för att få fram vattenskadornas omfattning och betongkonstruktioners torkningsbehov till följd av dessa. Efter att det inträffat en vattenskada, följs betongens uttorkningsskede upp och för att slutligen säkerställa att betongkonstruktionen har torkat tillräckligt utförs en fuktmätning.

Utförandet av en fuktmätning kräver stor noggrannhet och omsorg, eftersom en felgjord mätning kan få stora konsekvenser. Onödig väntetid och uppkomst av fuktskada under ett senare skede, är två av konsekvenserna som baserar sig på en felgjord mätning.²

¹ Merikallio 2002, s. 10

² Merikallio 2002, s. 5–6

Personer som utför fuktmätningar bör ha goda byggnadsfysikaliska kunskaper och mätteknisk erfarenhet.³

2.2 Simap

SIMAP ® MITTAUS är en del av SIMAP-produktfamiljen och ett lättanvänt verktyg vid tillfällig mätning i fastigheter. Utrustningens trådlösa mätgivare hjälper en snabbt att hitta värmens, den relativa fukthaltens eller luftkvalitetens problemområden i byggnader.⁴ Mätgivaren som kommer att användas i detta examensarbete heter ExtHum och är ämnad att mäta fukt i konstruktioner med. Dess mätområde för den relativa luftfuktigheten ligger inom 0...100 % RH och mätområdet för temperaturen ligger mellan – 30...+ 90 °C. ExtHum kan användas både inomhus och utomhus. Utrustningen lämpar sig bra för uppföljning av torkning i konstruktioner.⁵ Hur en ExtHum mätsond ser ut kan ses i figur 3.

Användning av Simap i detta examensarbete gör att man enkelt kan följa med betongens temperatur och relativa luftfuktighet, eftersom Simap-utrustningen loggar konstant information till en server. Loggningsintervallen kan ställas in med en sekunds steg mellan 60 till 65 000 sekunder. Genom att använda sig av ett användarnamn och lösenord har man fri tillgång till servern och de egna projekten. Informationen återges som tal i form av grader och procent, samt i grafform för valda sonder. Är man inloggad till servern får man själv välja vilket loggningsintervall man är intresserad av att se. Intervallen man kan välja mellan är varje sekund, minut, timme eller dag.



Figur 3. ExtHum-mätgivare tillhörande Simap-utrustningen.⁶

³ Nevander & Elmarsson 1994, s. 458

⁴ Simap (lämmityksen säätö esite) 16.02.2013

⁵ Simap (kosteusantureiden tekniset tiedot) 12.03.2013

⁶ Simap (kosteusantureiden tekniset tiedot) 12.03.2013

2.3 Gjutning av betongplattorna

Enligt beställarens önskemål gjordes betongplattor med tre olika vattencementtal. Två betongplattor med vattencementtalet 0,45, varav den ena ska ha betongytans cementlim kvar och den andra ska ha cementlimmet bortslipat. En med vattencementtalet 0,6 som ska slipas och en med vattencementtalet 0,7 som ytans cementlim också ska bortslipas från. Ena vct 0,45 plattan misslyckades, vilket ledde till att halva den kvarstående slipades. Betongplattorna blev 525 mm breda, 1150 mm långa och 100 mm tjocka. Betongens vattencementtal, eller vct som det här efter kommer att benämnas, är mängden blandningsvatten angett i kilogram delat med mängden cement angett i kilogram.⁷

Före gjutningen av betongplattorna räknades stenmaterialens fuktkvoter ut, för att man ska kunna tillsätta korrekt mängd vatten under gjutningen och på så sätt få ett mera tillförlitligt vct där stenmaterialens fuktinnehåll ingår. Uträkning av fuktkvoter finns i bilaga 1. Kontroll av fuktinnehåll i stenmaterialen utfördes på följande sätt: först vägdes kärlen tomma och dess vikter antecknades. Efteråt fylldes de med materialen filler, grus och makadam tagna ur mitten på stenbehållarna i bygglabbet. Kärnen med de våta materialen vägdes igen och dess vikter antecknades. Sedan sattes de in i en torkugn i 110 °C. Efter ett dygn gjordes en mellanvägning, samt rördes materialen om i kärnen så att all extra fukt ska kunna torka ut. Sedan sattes de tillbaka in i ugnen på samma grader. Efter ytterligare ett dygn togs de ur torkugnen och vägdes igen, vikterna i gram antecknades. Slutligen räknades materialens fuktinnehåll ut på basen av detta.

Efteråt räknades betongens delmaterialmängder ut, baserat på en standardblandning man använder sig av i Yrkeshögskolan Novias byggnadslaboratorium i Technobothnia, Vasa. Dessa uträkningar finns presenterade i bilaga 2. Eftersom betongblandaren endast klarade av att blanda 50 liter åt gången och en betongplatta krävde ca 67 liter, delades gjutningen av varje betongplatta upp i två gjutningar.

Utförandet av betongblandningen gick till på följande sätt: Betongens delmaterial vägdes upp, halva vattenmängden tillsattes i betongblandaren, stenmaterial från de minsta kornstorlekarna till de större samt cement tillsattes, resterande vatten tillsattes och tillsatsmedel om så behövdes. Betongen blandades i betongblandaren i några minuter och

⁷Burström 2009, s. 205

hålldes ner i en behållare som skrapades ur i gjutformen. Slutligen vibrerades betongen med en stavvibrator. Cementsortens som använts är inhemskt byggcement för allt byggande vid namn Pluscement CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N.

Vid blandningen av betongplattorna med vct 0,45 uppmärksammades att dessa inte kommer att kunna formas eftersom blandningen blev för fast. För att få en mera bearbetbar betong tillsattes vattenreducerande tillsatsmedlet VB-Parmix. Vattenreducerande tillsatsmedel minskar friktionen mellan betongens fasta partiklar. Medlen kallas därför ibland även plasticerande medel. Medlen kan användas på liknande sätt som flyttillsatserna men effekten är inte lika kraftig. Det innebär dock att de vattenreducerande medlen ger ett minskat vattenbehov, ökad bearbetbarhet och ökad hållfastighet vid oförändrad cementhalt.⁸

2.4 Uttorkning av betongens byggfukt

Byggfukt kan definieras som den mängd vatten som måste avges för att byggnadsmaterialet ska komma i fuktjämvikt med sin omgivning.⁹ Hur lång tid det tar för byggfukten att torka ut beror på flera faktorer, t.ex. materialets egenskaper, materialtjocklekar och omgivningens temperatur och fuktighet. Uttorkningsprocessen sker i olika skeden. Under första uttorkningsskedet bestäms uttorkningshastigheten endast av avdunstningshastigheten från en fri vattenyta och under det andra uttorkningsskedet är det fuktransporten i materialet fram till ytan som är avgörande för uttorkningshastigheten.¹⁰

Ju lägre vct en betongplatta har, desto mer fukt binds kemiskt och fysikaliskt. Med andra ord är det mindre byggfukt som bör torkas ut. Exempelvis motsvarar mängden byggfukt i betong med vct 0,7 ca 40 kg vatten per m³ betong som ska uttorkas, medan mängden byggfukt i en betong med vct 0,4 motsvarar endast ca 15 kg vatten per m³ betong som ska uttorkas, innan betongen når 90 % RH.

Vid en viss given ålder på betongen är porstrukturen mer finporös ju lägre vct man har. Ju mer finporös porstrukturen en betong har, desto långsammare transporteras vatten i den. Att använda sig av ett lägre vct skulle därför i princip betyda en långsammare

⁸ Burström 2009, s. 214

⁹ Nevader & Elmarsson 1994, s. 280

¹⁰ Pettersson 2010, s. 117–119

uttorkning. Det har däremot visat sig att nettoeffekten har lett till att en betong med lägre vct får en kortare torktid, eftersom mängden byggfukt som ska uttorkas är betydligt mindre än i betong med högre vct.¹¹

2.5 Åtgärder vid långa torktider för betongplattor

Betongens uttorkningstider kan vara så långa att byggarbetsplatsen inte har möjlighet att vänta så lång tid på att få en betongplatta torr. Några åtgärder man kan använda sig av gällande ytskiktet är att göra det fukttåligt eller fuktgenomsläppligt, samt att man kan montera en fuktspärr mellan betong och fuktkänsliga material förutsatt att fukt ändå kan avgå. En annan möjlighet är att använda sig av betong med låga vattenbindemedelstal, t.ex. snabbtorkande betong som har ovanligt snabb uttorkning vid normala byggförhållanden eller självtorkande betong som är så tät och innehåller så lite byggfukt att den klassas som en byggfuktfri betong.¹² Man bör ändå beakta att fukten inte får stängas in, utan bör kunna komma ut.

2.6 Fuktens påverkan på inomhusklimatet

Fukt- och mögelskador är ett av de största miljöhälsoproblemen i vårt land och en av de viktigaste orsakerna till dålig kvalitet på inomhusluften. Orsaken till fukt- och mögelproblem kan hittas i planeringen, byggandet, underhållet och i användningen av byggnaden.¹³

Det finns många kemikalier i inomhusluften som reagerar med vattenånga och bildar föreningar som irriterar luftvägarna och huden. Hög relativ luftfuktighet orsakar i sin tur formaldehydemissioner från byggnadsmaterial och möbler.¹⁴ Den rekommenderade relativa luftfuktigheten inomhus bör ligga mellan 30 – 40 % RH.¹⁵

Mikrober som indikerar att det finns en fuktskada i byggnaden är bl.a. *Aspergillus fumigatus*, *Trichoderma*- och *Stachybotrys*-släktens svampar, jästsvampar, samt

¹¹ Hedenblad 1995, s. 10

¹² Hedenblad 1995, s. 12

¹³ Riksomfattande åtgärder mot fukt och mögel. 18.03.2013

¹⁴ Sisäilmäyhdistys RY 1996, s. 65

¹⁵ Puhakka & Kärkkäinen 1996, s. 22

strålsvampar m.m. Mikrober kan uppsamlas från inomhusluften med t.ex. en Andersen-sampler, som imiterar människans inandning.¹⁶ Det kritiska fukttillståndet för att mikrobiell tillväxt ska ske, varierar mellan 75 – 90 % RH beroende på byggnadsmaterial.¹⁷

3 Olika typer av fuktmätare

När man vill ha reda på byggnadens fukttillstånd utan att söndra konstruktioner, använder man sig av en ytfuktmätare. Mätarens funktion baserar sig på att det uppmätta materialets vattenhalt kan ses som förändringar i materialets elektromagnetiska egenskaper. Det finns flera olika typer av ytfuktmätare¹⁸ i detta examensarbete kommer mätaren Gann Hydromette RTU 600 med mätgivaren B50 att användas. Gann Hydromette RTU 600 presenteras närmare i figur 4.

Viktigt att komma ihåg är att en ytfuktmätarens resultat endast är riktgivande, med tanke på mätarens uppbyggnad och förändringar i olika byggnadsmaterial. En utförd fuktmätning baserad på resultat från en ytfuktmätare godkänns inte när man ska göra beslut om ifall betongen är tillräckligt torr för att kunna ytbeläggas, inte när man ska ta beslut om betongens torkningsbehov och inte heller när man ska ta beslut om att riva konstruktioner.

Vill man mäta betongens relativa luftfuktighet görs det genom en borrhålsfuktmätning. Där använder man sig av elektroniska mätare som består av en indikator och en mätgivare. Inne i mätgivaren finns en fuktgivare och en temperaturgivare. Det finns flera olika sorters fuktgivarmodeller, varav de kapacitiva fuktgivarna är de som vanligen används vid mätning av betong. En kapacitiv mätgivare består av två elektroder med ett mottagligt material mellan sig, t.ex. plast. Det mottagliga materialet avger och tar emot omgivningens vattenmolekyler, vilket är grunden för den kapacitiva förändringen. Fuktens kapacitiva förändringar i det uppmätta materialet, visas som siffror på indikatorn.¹⁹ I detta examensarbete kommer Vaisala HM44-set för fuktmätning i betong samt mätgivare

¹⁶ Puhakka & Kärkkäinen 1996, s. 20

¹⁷ Kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial. 18.03.2013

¹⁸ Merikallio 2002, s. 6

¹⁹ Merikallio 2002, s. 7–9

HMP42 att användas för genomföring av borrhålsfuktmätning. Vaisala HM44-set presenteras närmare i figur 5.

Baserat på resultatet från en borrhålsfuktmätning kan man uppskatta hur mycket extra fukt konstruktionen har tagit upp från omgivningen och om konstruktionen kan ytbeläggas utan risk för att det ska uppstå en fuktskada. På basis av en utförd mätning kan man även bedöma en fuktskadas orsak och omfattning, samt möjliga torkningsbehov.²⁰

3.1 Gann Hydromette RTU 600

I figur 4 kan ses ytfuktmätare Gann Hydromette RTU 600. Vid användning av olika tillbehör visar mätaren omedelbart om det finns fukt eller inte, utan att det kommer hål i materialet. På bilden är mätgivare B50 kopplad till mätinstrumentet.



Figur 4. Ytfuktmätare Gann Hydromette RTU 600 med mätgivare B50 fastkopplad. Namnen på mätinstrumentets olika delar finns i Gann-manualen.²¹

²⁰ Merikallio 2002, s. 11

²¹ Gann-manual, s. 3–5. 19.02.2013

Mellan den aktiva kulan och materialet som ska mätas uppkommer ett mätfält. Mätfältet påverkas av densiteten och fukthalten i det material som mäts. Förändringen i det elektriska fältet på grund av materialets fuktighet och densitet registreras och kan ses digitalt på instrumentvisaren. Hur man tolkar de värden mätinstrumentet ger, kan ses i tabell 1. Densiteten i det material som ska kontrolleras, har stor betydelse. Principiellt gäller att enligt ju högre densitet materialet har, höjs instrumentvisarens digitala värde i motsvarande grad.²²

Tabell 1. Tolkningstabell över mätvärden för Gann Hydromette RTU 600.

density kg / m ³	Display in Digits					
	very dry	normal dry	semi dry	moist	very moist	wet
up to 600	10 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 90	90 - 110	more than 100
600 -1200	20 - 30	30 - 50	50 - 70	70 - 100	100 - 120	more than 120
1200 -1800	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100	110 -130	more than 130
above 1800	30 - 50	50 - 70	70 - 90	90 - 120	120 - 140	more than 140

Tabell över hur man tolkar de värden man avläser under en mätning med Gann, beroende på materialets densitet.²³ (Värdena som Gann mätinstrument ger anges inte i % RH, utan är enhetslösa.) Betongens densitet varierar mellan 1500-2400 kg/m³.²⁴ Normalt räknar man med att betongens densitet är minst 2000 kg/m³.

3.2 Vaisala HM44-set

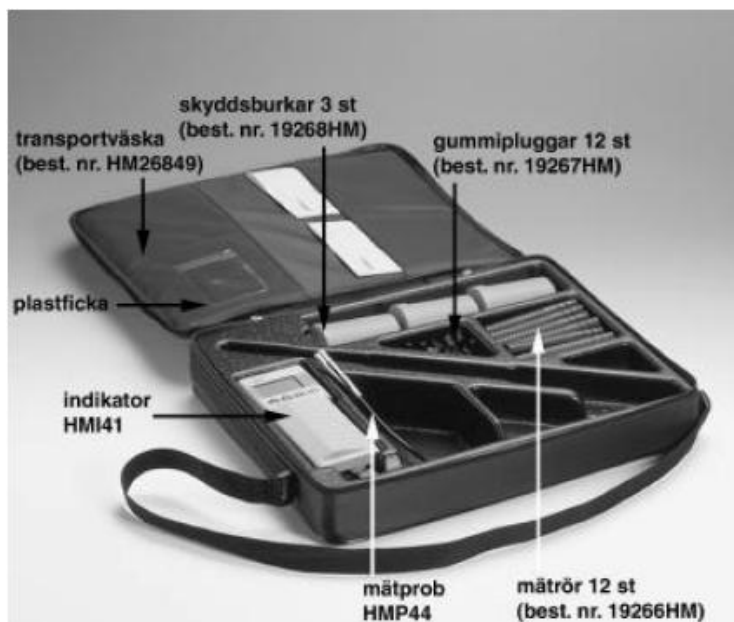
Vaisala HM44-set är ett fuktmätkit som är utvecklat speciellt för att mäta den relativa fuktigheten i betong och även i andra konstruktioner. Fuktmätkitet HM44 innehåller följande: HMP44-fukt- och temperaturprob, HMI41-indikator, skyddsburkar med lock, gummipluggar, mätrör, transportväska och bruksanvisning.²⁵

²² Svenska termoinstrument, s. 2. 20.03.2013

²³ Gann-manual, s. 70. 19.02.2013

²⁴ Maols tabeller 2006 (fysik), s. 77

²⁵ Vaisala HM44-set, s. 1. 04.03.2013



Figur 5. Vaisala HM44-set för fuktmätning i betong.²⁶

I figur 5 presenteras Vaisalas mätkit. Mät rören sätts ner i 16 mm hål vid borrhålsfuktmätning. Runt mät röret trycker man ner en skyddsburk, dels för att hålla temperaturen kring borrhålets yta stabil och dels som skydd så att ingen trampar på röret. I mät rören sätter man ner mät prob HMP44. Mät proben kopplas till indikator HMI41 för avläsning. När mät proben har avlästs, snurrar man den runt mät röret och sätter skyddslocket på skyddsburken.

3.3 Fuktmätarnas kalibrering och feltolerans

Yt fuktmätare Gann är tillverkad med en elektronisk mätanordning som gör att manuell kalibrering eller inställning är onödig.²⁷ Kalibrering kan behövas ifall man använder yt fuktmätaren till att mäta mycket hög fuktighet (mer än 80 % RH) och mycket låg fuktighet (mindre än 35 % RH). Till denna typ av kalibrering används kontrollvätskor och kalibreringen bör utföras enligt instruktioner givna under rubrikerna ”testing” och ”re-calibration” i Gann-handboken. Mät givare som behöver kalibreras är bl.a. RF-T 28 eftersom den används till att mäta den relativa fuktigheten.²⁸ Mät givare B50 som jag använder mig av är en mät givare som inte klarar av att mäta den relativa fuktigheten (% RH) med.

²⁶ Vaisala HM44-set, s. 1. 04.03.2013

²⁷ Gann manual, s. 6. 19.02.2013

²⁸ Gann manual, s. 84–87. 19.02.2013

Eftersom jag i detta examensarbete inte kommer att använda mig av ytfuktmätaren till att mäta den relativa fuktigheten med, finns det inget som behöver kalibreras gällande Gann-utrustningen. Jag vill ändå framhålla att mätgivare kräver kalibrering för att fungera korrekt.

Vill man kontrollera ifall mätgivare B50 är rätt inställd, kopplar man fast den i mätaren, håller mätgivaren i luften och trycker in mätknappen. På mätarens LCD-display ska nu ses ett värde mellan - 5.0 till + 5.0 enheter. Ifall den visar något annat bör den ställas om enligt anvisningarna i manualen.²⁹

Vad gäller borrhålsfuktmätare Vaisalas mätprob HMP44 spelar kalibreringen en större roll, eftersom den har stor betydelse för mätnoggrannheten. Vaisala Oyj meddelar att mätnoggrannheten för mätprob HMP44 är ± 2 % vid mätning av den relativa fukthalten mellan 0 – 90 % och ± 3 % vid mätning av den relativa fukthalten mellan 90 – 100 %. För temperaturmätaren gäller en noggrannhet på $\pm 0,3$ °C.³⁰

4 Kalibrering av prober med fuktkalibrator Vaisala HMK15

I examensarbetet har jag själv kalibrerat proberna som använts. Den senaste fabrikskalibreringen av proberna gjordes i september år 2010. Laboratorieingenjör Mika Korpi har 30.10.2012 kalibrerat mätgivaren Vaisala HMP42. Vid kalibreringstillfället användes fuktkalibrator Vaisala HMK15 med mättade saltlösningar gjorda i laboratoriet i Technobothnia, Vasa.

Kalibreringsmetoden som använts är en s.k. tvåpunktsfuktkalibrering, som innebär att man behöver en låg och en hög fukthaltsreferens.³¹ Dessa fukthaltsreferenser väljs utgående från vilken typ av mätning man tänker utföra. Eftersom jag i detta examensarbete primärt mäter den relativa fukthalten i nygjutna betongplattor, används den högsta saltlösningen som hög fukthaltsreferensen. Betongplattorna kommer inte att hinna bli särskilt torra innan mitt

²⁹ Gann-manual, s. 69. 19.02.2013

³⁰ Merikallio 2009, s. 80

³¹ Vaisala HM44-set, s. 30. 04.03.2013

arbete är slutfört. Med detta i åtanke räcker det med att välja den näst lägsta saltlösningen som låg fukthaltsreferens.³²

En saltlösning bibehåller sina egenskaper i 6–12 månader efter att de är tillverkade och bör därefter bytas ut.³³ Saltlösningarna magnesiumklorid (MgCl_2 33 %) och kaliumsulfat (K_2SO_4 97 %) som användes är gjorda 27.12.2011. Eftersom dessa saltlösningar är aningen gamla, blandade jag tillsammans med laboratorieingenjör Mika Korpi en ny saltlösning av natriumklorid (NaCl 75 %). Natriumkloridlösningen användes till att kontrollera ifall proverna blivit rätt kalibrerade, trots användningen av de en månad föråldrade saltlösningarna.

4.1 Fuktkalibrator Vaisala HMK15

Fuktkalibrator HMK15 är utvecklad för kalibrering samt kontroll av fuktmättningsprober och fuktmätare. Kalibrators funktion baserar sig på användningen av mättade saltlösningar med kända relativa fukthalter. Saltlösningarna finns i olika kamrar, där deras karakteristiska relativa fukthaltsvärden omvandlas till den ovanliggande luften ovanför saltet i kammaren. Saltlösningarna man kan använda sig av är litiumklorid LiCl (11 % RH), magnesiumklorid MgCl_2 (33 % RH), natriumklorid NaCl (75 % RH) och kaliumsulfat K_2SO_4 (97 % RH). Saltlösningen litiumklorid är frätande och bör förvaras i temperaturer över +18 °C, annars ändras saltlösningens fuktjämvikt permanent.

Fuktkalibratoren har fyra hål i kammarens lock och de är konstruerade för Vaisalas prober och mätgivare. Hålens diametrar är 12 mm, 13,5 mm (två stycken) och 18,5 mm. Kalibratoren lämpar sig för användning både i laboratoriemiljö och ute på fältet.³⁴ En bild på fuktkalibratoren med de tillbehör som behövs vid kalibrerinstillfallet kan ses i figur 6.

³² Korpi, laboratorieingenjör. Muntlig kommunikation 31.01.2013

³³ Vaisala HMK15, s. 14. 22.02.2013

³⁴ Vaisala HMK15, s. 1–3. 22.02.2013



Figur 6. På bilden kan ses temperaturmätare längst till vänster, fuktikalibrator HMK15 i mitten, indikator HMI41 längst till höger och en mätprob (HMP44) längst fram. Dessa instrument behövs vid kalibreringen.

4.2 Färdigställande av saltlösningar

För att tillverka saltlösningarna, använder man sig av tillbehören mätkopp, blandare, jonbytesvatten (destillerat vatten), färdigdoserade saltförpackningar, kamrar och transportlock. Tillbehören visas i figur 7.

Förberedande arbeten: Se till att alla tillbehören är absolut rena. Tvätta dem flera gånger och gör en sista sköljning med destillerat eller jonfritt vatten. Om man inte använder sig av fördoserade saltförpackningar, måste man mäta upp saltet med mätkoppen som medföljer. Vattnet man använder sig av för att blanda saltlösningen med, bör vara destillerat eller jonfritt. Hantera salterna varsamt och låt dem inte blandas med varandra.³⁵

³⁵ Vaisala HMK15, s. 2. 22.02.2013



Figur 7. Fuktkalibrator HMK15 (längst till höger) med tillbehör.³⁶

Tillverkning av saltlösningarna görs enligt figurerna 8 – 12 och tabellerna 2 – 3.



Figur 8. Ta bort kalibratort från förpackningen. Ta bort kalibratortens transportlock. Ta av mätlocket från kammarens hållare och skruva fast transportlocket på bottenplattan.



Figur 9. Ställ kammaren på ett bord. Häll jonfritt eller destillerat vatten i kammaren. Korrekt mängd anges i tabell 2. Skölj och torka av mätkoppens efteråt med papper.³⁷

³⁶ Vaisala HMK15, s. 1. 22.02.2013

³⁷ Vaisala HMK15, s. 4. 22.02.2013

Tabell 2. Saltlösningarnas erforderliga destillerade eller jonfria vattenmängder.

LiCl	12 ml vatten
MgCl ₂	3 ml vatten
NaCl	10 ml vatten
K ₂ SO ₄	10 ml vatten



Figur 10. Använder man sig av saltförpackningar, strör man lite i taget av förpackningarnas innehåll ner i kammaren under ständig omrörning. Använder man sig av salt i lösvikt, bör man mäta upp detta till korrekt mängd i en rengjord mät kopp enligt tabell 3 och sen strö lite i taget av saltet ner i kammaren under ständig omrörning. Skölj och torka sen av mätkoppen efter varje användning.

Tabell 3. Den blivande saltlösningens erforderliga mängd salt.

LiCl	15 g eller 18 ml
MgCl ₂	30 g eller 30 ml
NaCl	20 g eller 15 ml
K ₂ SO ₄	30 g eller 20 ml

Beroende på vilken saltlösning det är ska den mättade saltlösningens proportion ska vara 60 – 90 % ouplöst salt till 10 – 40 % vätska, när allt salt är strött i kammaren.³⁸

³⁸ Vaisala HMK15, s.4–5. 22.02.2013



Figur 11. Kammaren försluts sedan med kammarlocket ifall man har för avseende att kalibrera inom kort och med transportlocket ifall kammaren kommer att stå länge utan att användas.

Sätt fast kammaren på bottenplattan och tryck ner svarta gummipluggar i de fyra hålen, som tätning. Dessa gummipluggar har tre steg, som vart och ett lämpar sig för en viss håldiameter. Det är viktigt att komma ihåg att se till att hålen alltid är förslutna när instrumentet inte används för kalibrering.



Figur 12. Anteckna på en etikett när saltlösningen är gjord och sätt etiketten på kammaren. Använder man sig av fördoserade saltförpackningar kan man använda sig av deras etiketter (t.ex. NaCl) och klistra fast på kammare, kammarlock och transportlock enligt bilden.

Låt saltlösningen stabilisera sig i 24 timmar innan användning, så att den når fuktjämnvikt. Underhåll av saltlösningarna beskrivs i kapitel 4 i fuktkalibrators bruksanvisning.³⁹

³⁹ Vaisala HMK15, s. 5–6. 22.02.2013

4.3 Viktig information före start av kalibrering

Innan man börjar kalibreringen av en viss prob måste man komma ihåg att ändra probnummern i mätinstrument HMI41, eftersom kalibreringen sker för den valda proben. När proben är kopplad till HMI41 (i uttaget PROBE) är det siffran nere i det vänstra hörnet som anger probens nummer och denna siffra bör överensstämma med den siffra som finns på probens etikett. Ifall de inte överensstämmer ändrar man siffran på displayen genom att trycka på ENTER och samtidigt på ▲ eller ▼, beroende på om man ska ha en högre eller lägre siffra. Släpp knapparna när probsiffran är korrekt.⁴⁰ Detta måste göras enskilt för varje prob som ska kalibreras.

Referensinstrumentet och proberna ska ligga på kalibreringsplatsen i minst 30 minuter, så att dess temperaturer stabiliseras till rumstemperatur.⁴¹ Kalibrator HMK15 med tillbehör som kommer att användas under kalibreringen bör också ligga på kalibreringsplatsen i minst 30 minuter innan kalibrering påbörjas.

Kamrarna där salthaltslösningarna finns ska ha transportlocket på när de inte används. Vid kalibreringstillfället tas transportlocken bort och byts ut mot mätlock som skruvas fast. De fyra hålen i mätlocket tätas med de svarta pluggarna som medföljer. Vid borttagning av pluggar från saltlösningsskamrarna, är det viktigt att ta bort dem direkt före insättning av en prob. Ju kortare tid hålen till kamrarna är öppna, desto snabbare stabiliserar sig proben vid kalibrering.

I kalibreringsanvisningarna anges att man bör ta bort skyddshöljet på proben som ska kalibreras.⁴² Jag kommenterade detta för laboratorieingenjör Mika Korpi, som vid inläringstillfället av kalibreringen visade mig att man kalibrerade med skyddshöljet på. Enligt honom tar det bara längre tid innan proberna har stabiliserat sig, mot vad det skulle räcka om de kalibreras utan skyddshölje. Mina funderingar började kretsa kring ifall det kommer att ge missvisande värden i kalibreringen. Mika Korpi kommenterade då att ifall probernas sensorer är så känsliga att de ger fel mätvärden ifall man har på skyddshöljet, borde man ju även utföra fuktmätningar med skyddshöljet borta – vilket man inte gör.⁴³

⁴⁰ Vaisala HM44-set, s. 11–27. 04.03.2013

⁴¹ Vaisala HM44-set, s. 30. 04.03.2013

⁴² Vaisala HMK15, s. 9–10. 22.02.2013

⁴³ Korpi, laboratorieingenjör. Muntlig kommunikation 31.01.2013

Kom ihåg att proben ska vara kopplad till indikator HMI41 under hela kalibreringen. Hantera mätproberna så lite som möjligt, ty även den minsta vattendroppe på mätproben nära sensorerna förvränger mätvärdena. Rör inte saltkammarna eller någon annan del av fuktkalibratortorn medan kalibreringen pågår, eftersom dessa då värms upp av handen, vilket leder till missvisande mätvärden. Försök att röra temperaturmätaren så lite som möjligt och rör inte i mätarens nedre del.⁴⁴ Man ställer mycket stora krav på temperaturstabilitet under kalibreringen. En temperaturvariation på $\pm 0,1$ °C kan orsaka motsvarande instabilitet på RH-nivån på $\pm 0,5$ % RH.⁴⁵ För att säkerställa givarnoggrannheten över hela fuktmätningssområdet 0-100 %RH bör kalibreringen utföras i minst två olika fuktigheter.⁴⁶

Ifall proberna under eller efter kalibreringen kommer i kontakt med kemikalier, kan detta förorsaka att probernas värden börjar avvika. Fenomenet kan ske även när proberna inte används, det räcker med att de befinner sig i samma skåp som kemikalierna. Beroende på vilken kemikalie proben utsätts för och till vilken exponeringsgrad, kan probens sensor återställas efter några timmar eller några dagar. Kemikalier som proberna reagerar på är bl.a. bensin, formaldehyd, ättiksyra och propan. Aceton orsakar permanent avvikelse.⁴⁷

4.4 Utförande av kalibrering

Innan kalibreringen påbörjas ska man ta i beaktande allt som finns under kapitel 4.2 och 4.3. Vid beskrivning av kalibreringsproceduren nedan, förutsätts det att all saltlösningssutrustning är klar att användas, att indikator HMI41 och HMI44 prober har legat tillräckligt länge på kalibreringsplatsen och att inställningarna för HMI41 är rätt gjorda. Innan kalibreringen påbörjas, sätter man in proben man vill kalibrera i PROBE, startar indikatorn HMI41 och väljer rätt probnummer (enligt kapitel 4.3).

Förberedningsskede:

- Ta loss proben, med den rätt inställda probnummerna, från indikator HMI41.
- Vid användning av tvåpunktskalibreringsmetod inleds kalibreringen i den lägre salthaltlösningen,⁴⁸ i detta fall magnesiumklorid MgCl_2 (33 %RH).

⁴⁴ Vaisala HMK15, s. 7–9. 22.02.2013

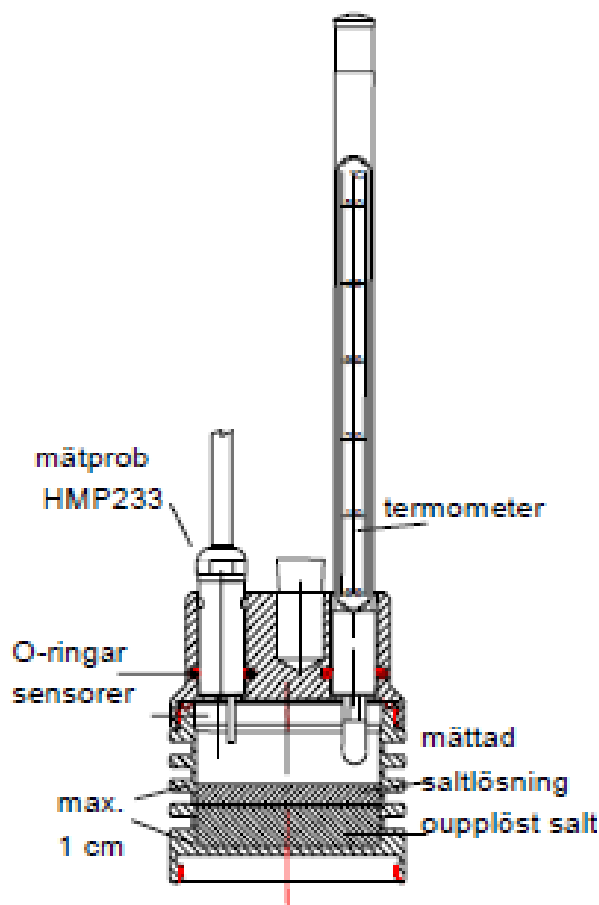
⁴⁵ Hedenblad 1995, s. 24

⁴⁶ Vaisala HMK15, s. 1. 22.02.2013

⁴⁷ Westerholm (2008) Bilaga 4, korrespondens med Vaisala kundtjänst.

⁴⁸ Vaisala HM44-set, s. 30. 04.03.2013

- Temperaturmätarens nedre del (transportskyddet) skruvas bort. Ta bort den svarta pluggen på magnesiumkloridkammaren ur ett av de två 13,5 mm hålen och tryck ner temperaturmätaren så långt att man känner ett motstånd.
- Ta bort den svarta pluggen ur det andra 13,5 mm hålet och sätt i proben, i detta fall med skyddshöljet på. Tryck ner proben förbi o-ringen tills man känner ett motstånd,⁴⁹ var dock försiktig så att man inte trycker den så långt ner att den rör i saltlösningen. Täta runt kammarhålet och proben med sinitarra.
- Se till att indikator HMI41 är avstängd och sätt i proben i PROBE-uttaget.
- Ha fram kalibreringstabellen som finns i bilaga 3 och anteckna färdigt probernas numror under rubriken ”Prob” och vilka saltlösningar som används till tvåpunktskalibreringen under rubriken ”Saltlösning”. Saltlösning 1 är den lägre fukthaltsreferensen och saltlösning 2 är den högre fukthaltsreferensen.

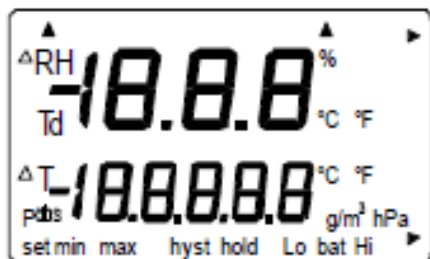


Figur 13. Placeringskiss över mätarna i saltkammaren.⁵⁰

⁴⁹ Vaisala HMK15, s. 9–10. 22.02.2013

⁵⁰ Vaisala HMK15, s. 7. 22.02.2013

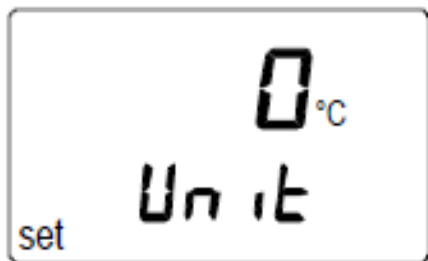
Kalibreringsproceduren går till på följande sätt enligt figurerna 14 – 25. Hur de olika mätarna placeras i saltkammaren kan ses i figur 13 på föregående sida.



Figur 14. Tryck in ON/OFF-knappen på HMI41-indikatorn, målet är att komma till "setup-menyn".



Figur 15. Släpp därefter ON/OFF-knappen och tryck inom 1–2 sekunder samtidigt in både ENTER och MODE, tills följande kan läsas på displayen.

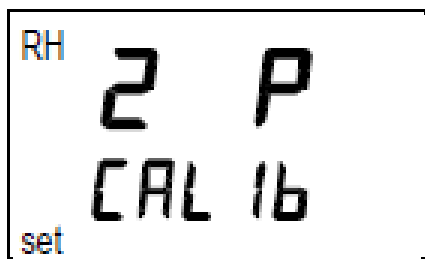


Figur 16. Väntar man några sekunder ändras texten på displayen till följande.⁵¹

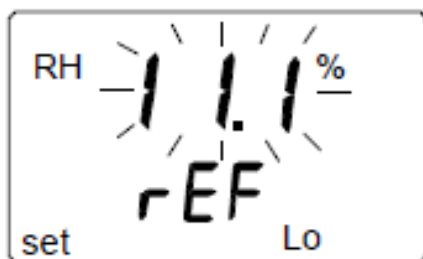


Figur 17. Tryck flera gånger på ENTER tills detta kan ses på displayen.

⁵¹ Vaisala HM44-set, s. 27–28. 04.03.2013

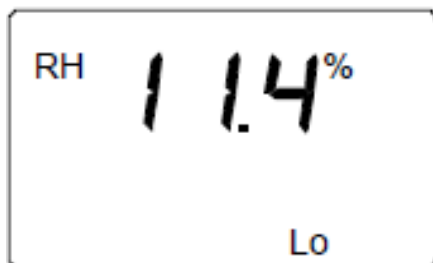


Figur 18. Tryck efteråt på *MODE* tre gånger tills följande kan ses på displayen.



Figur 19. Tryck *ENTER* för aktivering av tvåpunktskalibreringsläget. Följande kan ses på displayen (eventuellt annorlunda siffror) samtidigt som övre raden blinkar.⁵²

Den blinkande siffran är det värde man själv ska ange för den lägre fukthaltsreferensen. Värdet sparas sen i HMI41-indikatorns minne. Kontrollera vad temperaturmätaren visar att saltkammartemperaturen är. Avläs närmaste fuktvärde i kalibreringstabellen på bottenplattan av HMK15 (mitt emellan alla saltlösningsskammrar) vid den temperaturnivå som mätaren visar att råder i detta ögonblick i saltkammaren. Justera siffran på displayen med knapparna \blacktriangle och \blacktriangledown , så att det motsvarar värdet i kalibreringstabellen.⁵³ T.ex. om temperaturen i MgCl_2 kammaren är 21,5 °C, justeras värdet till 33 %RH. Anteckna värdet och temperaturen i kalibreringstabellen som finns i bilaga 3 under rubriken ”Saltlösningsskammare.”

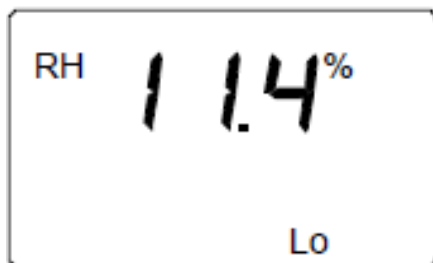


Figur 20. Tryck *ENTER* och på displayen visas det värde som indikator *HMI41* just nu mäter. (Eventuellt annorlunda siffror beroende på vilken salthaltlösning man använder sig av).

⁵² Vaisala HM44-set, s. 31. 04.03.2013

⁵³ Vaisala HM44-set, s. 31. 04.03.2013

Vänta i minst 10 minuter tills mätvärdet har stabiliserat sig.⁵⁴ Det är viktigare att låta mätvärdena stabilisera sig än att mäta i exakt 10 minuter.⁵⁵ När jag utförde kalibreringen väntade jag i genomsnitt 15 minuter för varje prob i den lägre salthaltslösningen.



Figur 21. När mätvärdet har stabiliserat sig, tryck på ENTER för att bekräfta värdet. Anteckna siffran i kalibreringstabellen i bilaga 3 under rubriken "Vaisala-indikator". Tryck ENTER igen och kalibreringen vid den låga fukthaltsnivån är avslutad.⁵⁶

Flytta termometern från den lägre saltlösningen till den högre,⁵⁷ i detta fall användes kaliumsulfat (K_2SO_4 97 %RH), i ett av de två 13,5 mm hålen. Termometern behöver inte torkas av eller rengöras innan den sätts in i den andra salthaltslösningen, har termometern däremot blivit fuktig kan det ha lett till att den gett missvisande temperaturvärden och då bör man göra om kalibreringen och torka av termometern. Sätt tillbaka en svart plugg för hålet där termometern stått i den lägre salthaltslösningen.

Ta inte loss proben från indikator HMI41 och tryck inte av skärmen. Ta bort sinitarrätningen mellan proben och mätlocket. Flytta över proben till den högre saltlösningens 13,5 mm hål (och täta på samma sätt som förut.)



Figur 22. Följande kan ses på displayen (eventuellt annorlunda siffror) samtidigt som övre raden blinkar.

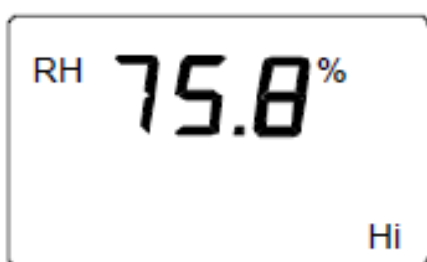
⁵⁴ Vaisala HM44-set, s. 31

⁵⁵ Korpi, laboratorieingenjör. Muntlig kommunikation 31.01.2013

⁵⁶ Vaisala HM44-set, s. 31

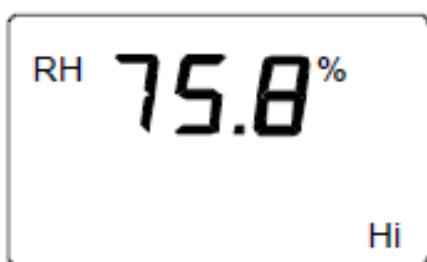
⁵⁷ Vaisala HM44-set, s. 32

Den blinkande siffran är det värde man själv ska ange för den högre fukthaltsreferensen. Värdet sparas sen i HMI41-indikatorns minne. Kontrollera vad temperaturmätaren visar att saltkammartemperaturen är. Avläs närmaste fuktvärde i kalibreringstabellen på bottenplattan av HMK15 (mitt emellan alla saltlösningsskammrar) vid den temperaturnivå som mätaren visar att råder i detta ögonblick i saltkammaren. Justera siffran på displayen med knapparna \blacktriangle och \blacktriangledown , så att det motsvarar värdet i kalibreringstabellen.⁵⁸ T.ex. om temperaturen i K_2SO_4 kammaren är 21,5 °C, justeras värdet till 97,5 %RH. Anteckna värdet och temperaturen i kalibreringstabellen som finns i bilaga 3 under rubriken ”Saltlösningsskammare”.



Figur 23. Tryck ENTER och på displayen visas det värde som indikator HMI41 just nu mäter. (Eventuellt annorlunda siffror beroende på vilken salthaltslösning man använder sig av)

Vänta i minst 10 minuter tills mätvärdet har stabiliserat sig.⁵⁹ Nu liksom förut, är det viktigare att låta mätvärdena stabilisera sig än att mäta i exakt 10 minuter.⁶⁰ När jag utförde kalibreringen väntade jag i genomsnitt 40 minuter för varje prob i den högre salthaltslösningen.



Figur 24. När mätvärdet har stabiliserat sig, tryck på ENTER för att bekräfta värdet. Anteckna siffran i tabellen i bilaga 3 under ”Vaisala indikator”. Tryck ENTER igen och kalibreringen vid den höga fukthaltsnivån är avslutad.⁶¹

⁵⁸ Vaisala HM44-set, s. 32. 04.03.2013

⁵⁹ Vaisala HM44-set, s. 32. 04.03.2013

⁶⁰ Korpi, laboratorieingenjör. Muntlig kommunikation 31.01.2013

⁶¹ Vaisala HM44-set, s. 32. 04.03.2013



Figur 25. Ifall kalibreringen lyckades, visas följande meddelande på displayen.

De olika värdenas korrigeringsdata har nu lagrats och beräknats i HMI41 indikatorns minne. Om meddelandet ”Cal pass” inte kommer upp på displayen och någon annan text visas i stället, t.ex. ”too close”, ”err offst” eller ”err gain”, har det uppstått ett fel som gjort att korrigeringen inte har lagrats i minnet. Felet kan bero på mätvärden som ligger utanför mätområdet eller på ett felaktigt referensvärde.⁶² Uppstår ett fel måste kalibreringen göras om.

4.5 Kalibreringsresultat och resultattolkning

I tabell 4 kan ses kalibreringsresultatet från när jag kalibrerade Vaisala HMP44 proberna. Mätosäkerheten är uträknad genom att ta saltlösningsskammarens värde t.ex. 33,0 % RH och från det subtrahera Vaisala-indikatorns värde t.ex. 32,4 % RH. Mätosäkerhetstalen med ett minus framför har inte klarat av att komma upp i så hög relativ fuktighet som de borde, medan de med ett plus framför har överstigit saltlösningens relativa fuktighet. Dessa mätosäkerheter kommer till användning när man vill veta probernas egentliga mätosäkerhet.

Ta prob 6 som exempel. Vid kalibrering i saltlösningen MgCl_2 (33,0 % RH) kom proben upp till 31,9 % RH. Detta innebär att proben visar 31,9 % RH när den egentligen borde visa 33,0 % RH. Mätosäkerheten på 1,1 % RH bör medräknas ytterligare till den mätosäkerhet på ± 2 % RH som Vaisala ger för sina prober i intervallet 0 – 90 % RH. Samma mätprob vid kalibrering i saltlösningen K_2SO_4 (97,5 % RH) kom upp till 95,6 % RH. Liksom förut innebär detta att proben visar 95,6 % RH när den borde visa 97,5 % RH. Mätosäkerheten på 1,9 % RH bör medräknas ytterligare till den mätosäkerhet på ± 3 % RH som Vaisala ger för sina prober i intervallet 90 – 100 % RH. För prob nr 6 i praktiken

⁶² Vaisala HM44-set, s. 32–33. 04.03.2013

betyder detta att alla mätvärden man uppmäter genom fuktmätning inom intervallet 0 – 90 % RH ska först subtraheras med mätosäkerheten 1,1 % RH och därefter kan man räkna med kastet på ± 2 % RH. Uppmätta mätvärden inom intervallet 90 – 100 % RH, ska först subtraheras med mätosäkerheten 1,9 % RH och därefter kan man räkna med kastet på ± 3 % RH. För prover som i kalibreringsprocessen översteg saltlösningens relativa fuktighet, adderas mätosäkerheten (istället för subtraheras) till det genom fuktmätning uppmätta värdet. Detta görs exempelvis för prob nr 2.

Utgående från kalibreringsresultaten i tabell 4 kan konstateras att proverna 2 – 6 har kommit upp i relativt bra värden med små osäkerhetsmarginaler och kan användas i examensarbetet. Prob 1 som är 9 % RH ifrån på den höga fukthaltsreferensen beaktas som att den inte är pålitlig nog att användas.

För att kontrollera att proverna är rätt kalibrerade gjordes en fuktmätning i en mättad natriumkloridlösning, som har känd relativ fuktighet och temperatur. Resultatet kan ses i tabell 5. Mätosäkerheten här är ännu mindre än vid den höga fukthaltsreferensen, dvs. kalibreringens lyckades bra.

Tabell 4. Kalibreringsresultat från tvåpunktsfuktkalibreringen av prover.

Prob	Saltlösning	Saltlösningskammare		Vaisala-indikator	Mätosäkerhet
1	MgCl ₂	33,0 % RH	21,5 °C	32,4 % RH	-0,6 % RH
	K ₂ SO ₄	97,5 % RH	21,5 °C	88,5 % RH	-9,0 % RH
2	MgCl ₂	33,0 % RH	22,0 °C	35,2 % RH	+2,2 % RH
	K ₂ SO ₄	97,5 % RH	22,0 °C	100,0 % RH	+2,5 % RH
3	MgCl ₂	33,0 % RH	21,5 °C	32,4 % RH	-0,6 % RH
	K ₂ SO ₄	97,5 % RH	21,5 °C	95,3 % RH	-2,2 % RH
4	MgCl ₂	33,0 % RH	21,5 °C	31,4 % RH	-1,6 % RH
	K ₂ SO ₄	97,5 % RH	22,0 °C	94,0 % RH	-3,5 % RH
5	MgCl ₂	33,0 % RH	21,5 °C	32,5 % RH	-0,5 % RH
	K ₂ SO ₄	97,5 % RH	22,0 °C	97,2 % RH	-0,3 % RH
6	MgCl ₂	33,0 % RH	21,5 °C	31,9 % RH	-1,1 % RH
	K ₂ SO ₄	97,5 % RH	21,5 °C	95,6 % RH	-1,9 % RH

Under rubriken "saltlösningskammare" kan ses de värden som proben eftersträfvade att komma till och under rubriken "Vaisala-indikator" kan ses de värden som proben kom till. Den sista kolumnen är mätosäkerheten mellan de båda uppmätta fukthaltsvärdena.

Tabell 5. Kontroll ifall kalibreringen lyckades genom användning av natriumklorid som specifik fuktreferens.

Prob	Salt-lösning	Saltlösningskammare	Vaisala-mätare	Mätosäkerhet
1	NaCl	75,4 % RH 22,5 °C	73,8 % RH 22,4 °C	-1,6 % RH -0,1 °C
2	NaCl	75,4 % RH 22,5 °C	77,0 % RH 22,5 °C	+1,6 % RH ±0,0 °C
3	NaCl	75,4 % RH 22,5 °C	73,7 % RH 22,7 °C	-1,7 % RH +0,2 °C
4	NaCl	75,4 % RH 22,0 °C	74,4 % RH 22,0 °C	-1,0 % RH ±0,0 °C
5	NaCl	75,4 % RH 22,0 °C	75,1 % RH 22,1 °C	-0,3 % RH +0,1 °C
6	NaCl	75,5 % RH 21,5 °C	74,0 % RH 21,8 °C	-1,5 % RH +0,3 °C

Under rubriken "saltlösningskammare" kan ses de värden som saltlösningen i sig själv har och under rubriken "Vaisala-indikator" kan ses de värden som uppmättes genom vanlig fuktmätning. I den sista kolumnen anges mätosäkerheten mellan de uppmätta fukthaltsvärdena och temperaturerna.

5 Jämförda mätmetoder

Man kan mäta fukt i betong på flera olika sätt. De mätmetoder som behandlas i detta kapitel är ytfuktmätning på betongplattornas yta, borrhålsfuktmätning i borrarade hål, fuktmätning i utpikade provbitar placerade i glasrör och uppföljning av betongens uttorkning med Simap-utrustningen.

5.1 Ytfuktmätning med Gann

Utförandet av ytfuktmätning med Gann gjordes genom att mätgivaren B50 kopplades till MS-uttaget på RTU 600-mätaren, valknapp "X" vreds till läget "M", mätgivaren hölls mot betongytan i en 90 graders vinkel, mätknappen trycktes in och värdet på LCD-displayen avlästes.⁶³ På betongplattorna togs flera mätpunkter varje gång och de uppmätta värdena antecknades.

⁶³ Gann-manual, s. 65–69. 19.02.2013

Fördelarna med att använda sig av en ytfuktmätare är att man lätt hittar områden i konstruktionen eller byggnaden med de högsta fuktvärdena. Ytfuktmätaren kan användas på flera olika material och med dess hjälp kan man utan att söndra konstruktionen få reda på fukttransporten i olika konstruktioner, t.ex. hur högt vattnet har stigit kapillärt i en betongvägg.

Nackdelarna vid användning av ytfuktmätare är bl.a. att den reagerar och ger utslag på armeringsjärn, vattenrör och elledningar som ligger nära ytan i betongkonstruktioner. Olika modeller av ytfuktmätare kan ge olika mätresultat för samma konstruktion. Skillnader i innehållet i olika betongkvaliteter kan påverka ytfuktmätaren märkbart. Allmänt gäller att ju större betongmängd eller ju lägre vattencementtalet är desto bättre leder betongen elektricitet vilket medför att ytfuktmätaren ger ett högre mätvärde. Till exempel om man mäter snabbtorkande betong, där torkningen normalt baserar sig på större cementandel, kan ytfuktmätaren ge mycket höga mätresultat fastän betongen i verkligheten är torr.⁶⁴

Med tanke på alla dessa nackdelar, anser jag att vem som helst inte borde få utföra mätningar med en ytfuktmätare, för att sedan fatta beslut om vad som borde göras. Risken att få fel mätresultat är stor när man är oerfaren, t.ex. att man sätter mätaren på områden där armeringen ligger nära betongytan och på så vis får höga mätvärden. De som utför ytfuktmätningar borde först lära sig mätarnas problemområden och de bör veta att ytfuktmätare endast är indikatorer som indikerar på att något är fel. Det vill säga att de inte kan användas som underlag för t.ex. rivnings- eller ytbeläggningsbeslut.

5.2 Borrhålsfuktmätning med Vaisalaprob i 16 mm hål

Mätdjupet vid borrhålsfuktmätning bör vara minst 10 mm.⁶⁵ Borrhålsdjupet valdes enligt HM44-bruksanvisningen. Där anges det att vid enkelsidig uttorkning av betongplattan ska borrhålsdjupet vara 0,4*plattans tjocklek,⁶⁶ dvs. i detta fall $0,4 * 100 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$. Under ca en veckas tid utfördes mätningar på detta djup. Sedan valdes borrhålsdjupet till 35 mm för att få jämförbara resultat med Simap-sonderna som befinner sig på det djupet. I figur 26 visas mätrörens placering på betongplatta 3 och 4.

⁶⁴ Merikallio 2002, s. 6

⁶⁵ RT 14-10984, s. 3. 01.02.2013

⁶⁶ Vaisala HM44-set, s. 7. 04.03.2013



Figur 26. Vaisalas skyddsburkar med mätrör och mätprob inuti, placerade på betongplattorna.



Figur 27. Kontroll av inomhusluftens relativa luftfuktighet och temperatur i byggnadslaboratoriet i Technobothnia. Denna mätning genomfördes varje gång probernas värden avlästes.

Vid utförande av borrhålsfuktmätning har Vaisalas och RT:s direktiv följts. Mätningen utfördes genom att man först borrar ett 16 mm hål ner till djupet 40 mm, dammsög ur det med en centralsugare, blåste ur det med tryckluft ordentligt för att få bort allt betongdamm och stack sen ner ett av Vaisalas egna mätrör i hålet.⁶⁷ Mätröret tätades med sinitarra vid betongkanten.⁶⁸ Efteråt trädde en skyddsburk över mätröret och trycktes mot betongplattan, skyddsburken vreds i ca 90 grader så att den säkert satt fast och sedan matades en prob in i mätröret tills den nådde hålets botten.⁶⁹ Probens kabel och mätrörets öppning tätades med sinitarra.⁷⁰ Probens kabel samlades ihop och trycktes ner i skyddsburken och slutligen sattes skyddsburkens lock på.⁷¹ Efter att proben satts ner i mätröret bör den få stabilisera sig i tre dygn innan avläsning.⁷² Vid avläsningstillfället kopplades indikator HMI41 till mätproben, rätt prob valdes i menyn och det avläsbara värdet antecknades.

Borrhålsfuktmätning är noggrannast inom temperaturintervallet +15...+25 °C. Utför man en fuktmätning med stora krav på mätnoggrannheten, där temperaturen eller betongens temperatur är under 15 °C eller över 25 °C, bör fuktmätningen göras genom fuktmätning med provbit.⁷³ Fuktmätning visas i figur 28 och mätning av inomhusluftens relativa luftfuktighet samt temperatur visas i figur 27. Mätning av inomhusluftens relativa luftfuktighet och temperatur utfördes varje gång mätproberna avlästes, för att man så korrekt som möjligt kunde följa med betongens uttorkning ifall temperaturen varierade mellan avläsningsdagarna.

Fördelar vid användning av borrhålsfuktmätningens metod är att man får reda på konstruktionens fukttekniska egenskaper och fuktfördelning, genom vilken man kan uppskatta åt vilket håll fukten rör sig i konstruktionen.⁷⁴

Nackdelar vid borrhålsfuktmätning är att risken för felmätning är mycket stor. Några exempel på orsaker till varför en mätning kan gå fel är att mätgivaren eller mätproben kan vara felkalibrerade, temperaturen varierar under mätningen eller att mätningen sker på fel

⁶⁷ Vaisala HM44-set, s. 8–10. 04.03.2013

⁶⁸ RT 14-10984, s. 4. 01.02.2013

⁶⁹ Vaisala HM44-set, s.8–10. 04.03.2013

⁷⁰ RT 14-10984, s. 5. 01.02.2013

⁷¹ Vaisala HM44-set, s. 8–10. 04.03.2013

⁷² RT 14-10984, s. 5–6. 01.02.2013

⁷³ RT 14-10984, s.3. 01.02.2013

⁷⁴ Merikallio 2002, s.11

djup.⁷⁵ Borring av 16 mm hål har en torkande effekt och gör att betongen uppvärms lokalt. Ifall man direkt efter borringen placerar mätproben i hålet är risken stor att man uppmäter lägre fukthaltsvärden än vad betongen egentligen har, därför är det viktigt att låta mätproben stabilisera sig i hålet i tre dygn.



Figur 28. Fuktmätning av betongplattorna. Mätprob HMP44 fastkopplad till indikator HMI41 för avläsning av mätvärden.

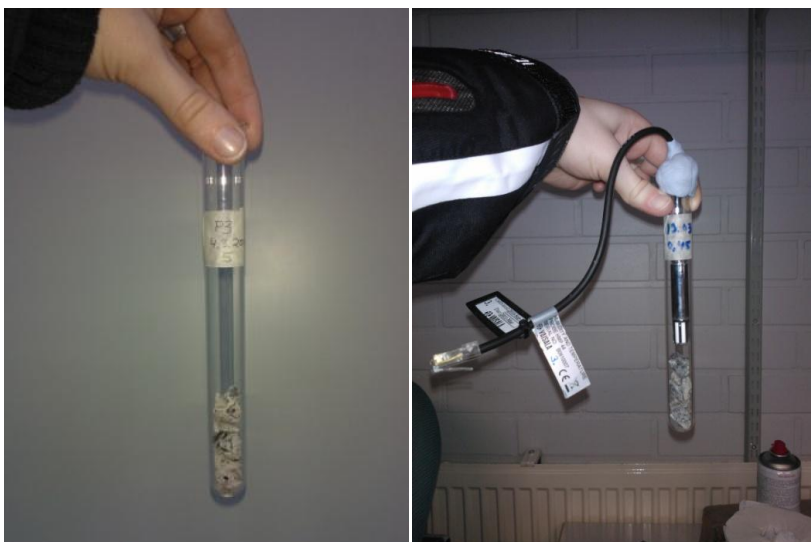
5.3 Fuktmätning med provbit

Mätningen grundar sig på att vattenånghalten i betongbitarnas porer är märkbart större än luften i provröret. Metoden går ut på att man tar provbitar av betongen, t.ex. genom pikning, ner till önskat djup. Provbitarna och en mätprob (Vaisala HMP44) sätts in i ett glasprovrör som tätas. (Figur 31 och 32). Provbitemetoden används främst när väderförhållanden vid mätplatsen är instabila, när betongens temperatur är för hög eller för låg för en borrhålsfuktmätning, eller helt enkelt när man vill få ett snabbt resultat.⁷⁶ Mättdjupet vid fuktmätning med provbit bör vara minst 2 mm.⁷⁷ Avläsning enligt figur 33.

⁷⁵ Hedenblad 1995, s. 24

⁷⁶ Merikallio 2002, s. 17–18

⁷⁷ RT 14-10984, s. 3. 01.02.2013

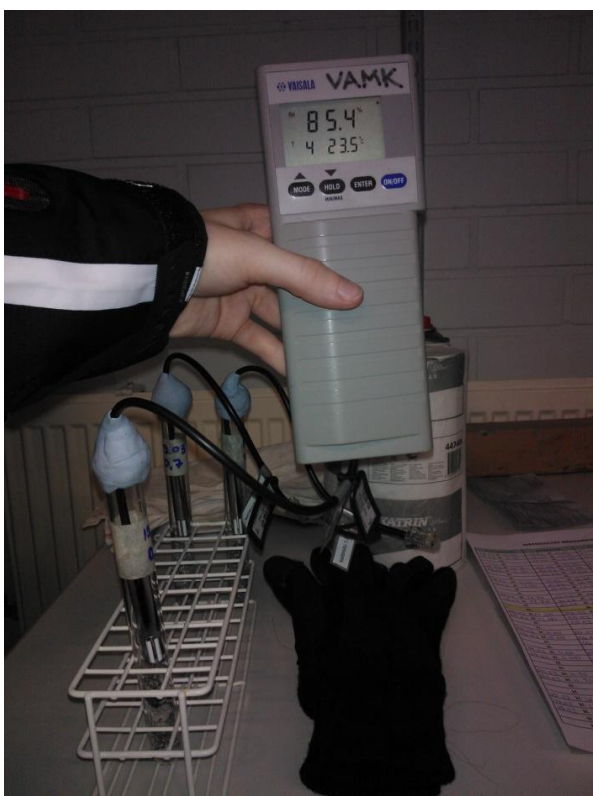


Figur 31 och 32. Till vänster: uthackade betongbitar placerade i ett glasprovör. Betongbitarna utgör ca en tredjedel av provörret. Till höger: en prob nerstucken i ett glasprovör vars öppning är tätad med häftmassa. Proben är satt ner i röret så att den inte rör betongbitarna, utan finns i luften ovanför bitarna.

Fuktmätning med provbit utfördes enligt anvisningarna i RT-kortet 14-10984. Först borrades en cylinder med diametern 50 mm ut ur betongplattan ner till önskat djup. Ifall betongcylindern inte lossnade självant pikades resterande bitar bort. Hålet dammsögs och mättes upp. När hålets mätdjup kontrollerats, hackades betongbitar bort från botten på hålet från samma cirka 5 mm tjocka skikt. För att få fram fukthalten på önskvärt djup, måste man vara noggrann med att ta betongbitar från ungefär samma skikt så att djupet inte varierar så mycket. Man ska låta bli att ta provmaterial 5 mm från hålets kanter (figur 34). Storlekarna på de betongbitar som hackas loss bör vara minst 5 mm x 5 mm x 5 mm. Glasprovörren fylldes med betongbitar, så att betongbitarna utgjorde minst en tredjedel av provörret. Efteråt sattes en prob i glasprovörren och provörrens öppning tätades med häftmassa. Glasprovörrets diameter är oftast minst 20 mm.

Räcker det inte prober till alla glasprovör med betongbitar i, tätas dessa provör under tiden med häftmassa utan prob. Provörren fördes sen till ett rum där det var jämn temperatur, oftast +20 °C, för att stabilisera sig. Stabiliseringen kan ta allt mellan 5 och 12 timmar.⁷⁸ I detta examensarbete lät jag varje prob få stabilisera sig ett dygn innan avläsning. Verktögen som användes vid provtagningstillfället var: hammare, handpik, spännskruv, skjutmått, målartejp, måttband, slagbormaskin (märke DeWalt), 50 mm diamantborr, centraldammsugare och tryckluft.

⁷⁸ RT 14-10984, s. 7. 01.02.2013



Figur 33. Fuktmätning med provbit. Mätprob HMP44 nr.4 fastkopplad till indikator HMI41 för avläsning. Värdena som kan avläsas är den relativa fuktigheten på 85,4 % och temperaturen på 23,5 °C.

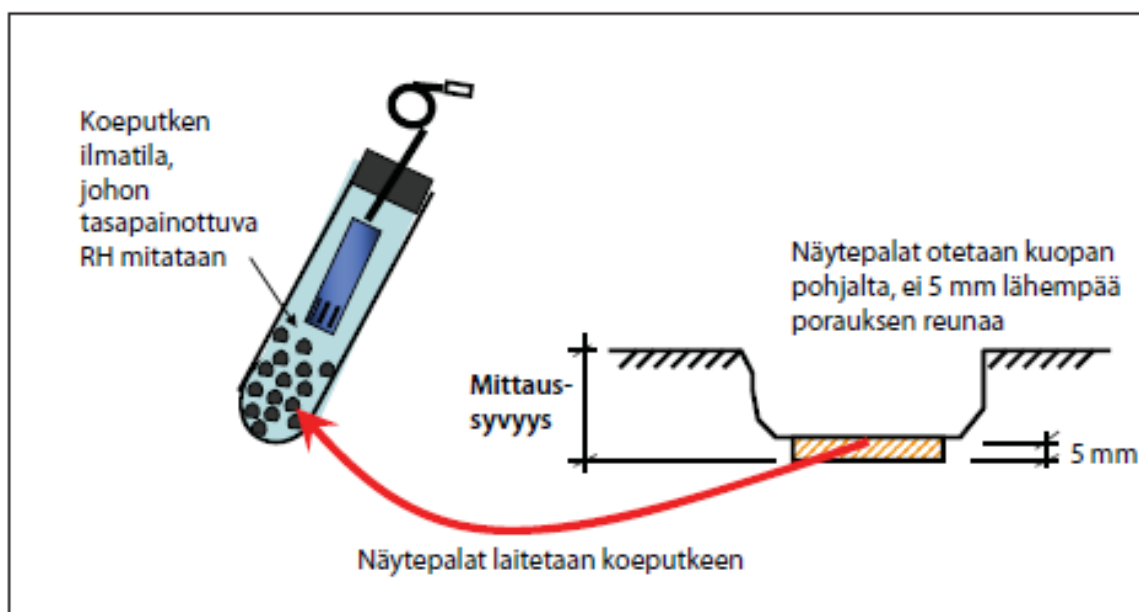
Fördelar med metoden är att den är både snabbare och mer tillförlitlig än borrhålsfuktmätning vid mätning av den relativa fuktigheten.⁷⁹ Mätförhållandets temperatur och konstruktionens temperatur inverkar inte på det uppmätta fukthaltsvärdets trovärdighet, förutsatt att mätningen sker inom mätområdet -20...+80 °C.⁸⁰

Nackdel vid fuktmätning med provbit är att en sämre mätnoggrannhet uppnås vid mätning om proben inte har satts in direkt i glasprovröret med betongbitarna, utan först efteråt. Vid användning av små glasprovrör behöver man inte hacka loss lika många betongbitar. Om rörets öppning tätas för dåligt med häftmassa kan det leda till att betongbitarnas fuktinnehåll inte räcker till att återskapa samma fuktinnehåll som vid provtagningsstillfället. Ifall provtagningen inte görs från korrekt djup, t.ex. om provet tas med en cylinder mindre än 50 mm, fås ett något slags medelvärde från stora delar av provtagningsdjupet i stället för från korrekt djup. Mätresultatet påverkas starkt av att betongens fuktfördelning är olika på olika djup, vilket kan leda till ett felaktigt resultat.⁸¹

⁷⁹ Merikallio 2002, s. 17

⁸⁰ RT 14-10984, s. 3. 01.02.2013

⁸¹ RT 14-10984, s. 12–13. 01.02.2013



Figur 34. På bilden kan ses hur materialprovet ska tas. Önskar man mäta den relativa fukthalten på mätdjupet 40 mm, borrar man ner cylindern till 35 mm, hackar loss de kvarblivna 5 mm och lägger dessa betongbitar i ett glasprovrör tillsammans med en prob.⁸²

5.4 Uppföljning av torktiden med Simap

Placeringen av Simap-sonderna i betongplattorna utfördes enligt anvisningar av byggnadsingenjörerna Christian Backman och Marcus Jansson. Det borrades hål med diametern 16 mm ner till djupet 35 mm. Efteråt dammsögs hålen ur ordentligt och blåstes ur med tryckluft för att få bort allt betongdamm. Hålen gjordes före Simap-utrustningen hade anlät, vilket innebar att när hålen var borrade tätades de med häftmassa i väntan på mätsonderna som anlände tre dagar senare.

Vid placeringen av Simap-sonderna i mätrören togs häftmassa bort från hålen och i varje hål stacks det ner ett mätrör som tätades vid betongkanten.⁸³ I varje mätrör sattes det ner en Simap-sond så långt ner så den tog i botten på borrhålet (figur 35). När fyra sonder hade placerats inne i betongplattorna och den femte hängde i luften för att mäta temperaturen och den relativa luftfuktigheten inomhus, sattes Simap-väskan med ”kontrollbordet” upp på en hylla och stöplades i ett eluttag i väggen. Avståndet mellan väskan och sonderna

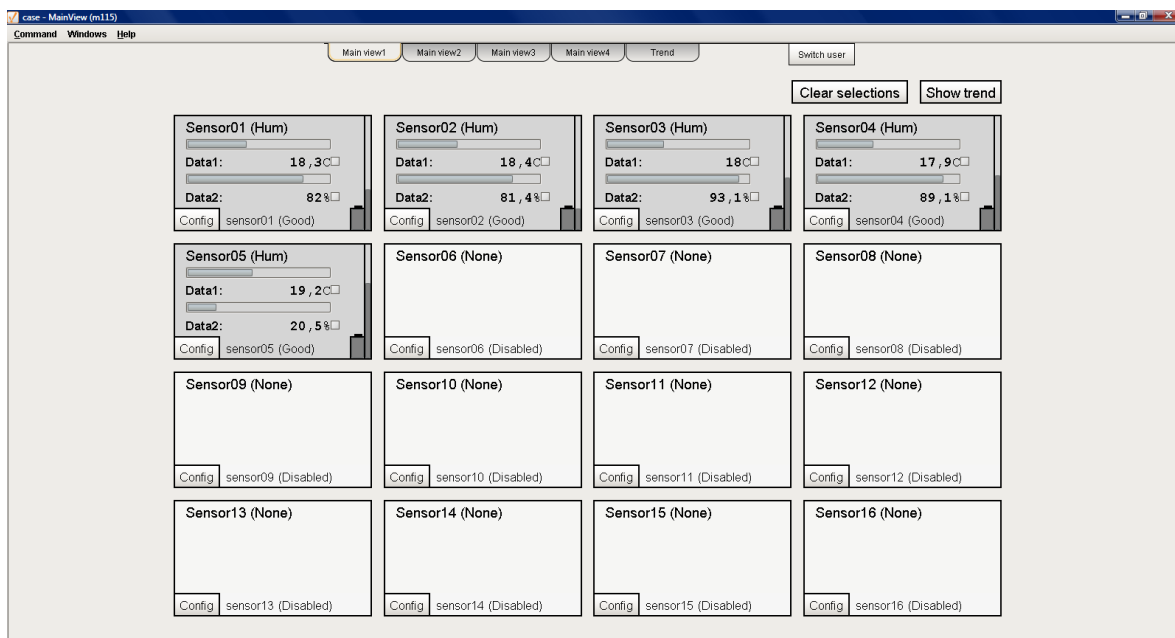
⁸² RT 14-10984, s.7. 01.02.2013

⁸³ Jansson, byggnadsingenjör. Muntlig kommunikation 19.02.2013

bör ligga inom cirka 0 – 50 m.⁸⁴ ”Kontrollbordet” registrerade sondernas data och började logga allt till servern. Sondernas data som loggar till servern kan ses i figur 36 och 37.

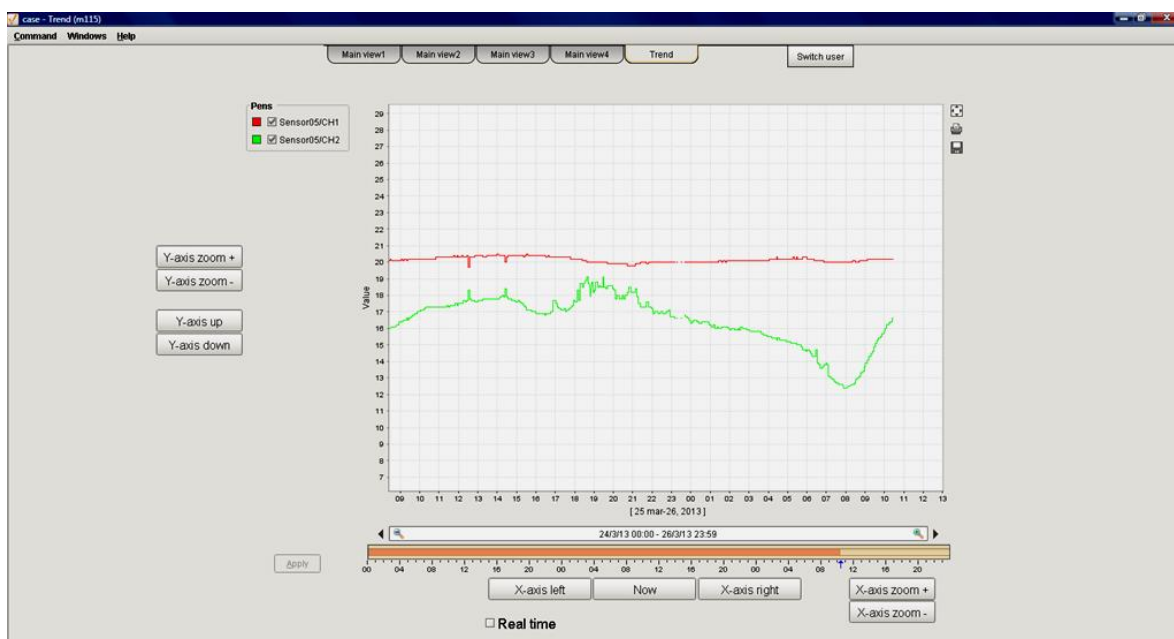


Figur 35. Simap-sond placerad i ett 16 mm Vaisala mätrör på djupet 35 mm.



Figur 36. Simap-sonderna som loggar till servern 19.02.2013. Sonderna Sensor01 – Sensor04 är de som finns i betongplattorna, medan Sensor05 finns i inomhusluften. Data1 anger sondens temperatur och Data2 anger den relativa fuktigheten. Sonderna loggar hela tiden till programmet, vilket gör att värdena som kan ses alltid är aktuella.

⁸⁴ Backman, byggnadsingenjör. Muntlig kommunikation 19.02.2013



Figur 37. På bilden har Sensor05 valts för att illustrera grafen över temperaturens och den relativa fuktighetens fördelning. På x-axeln finns tidsintervallen för de datum som anges under tiden och på y-axeln finns värdena. Man bör själv hålla reda på vilken färg som står för temperaturen (i detta fall den röda) och vilken som står för den relativa fuktigheten (i detta fall den gröna) eftersom y-axeln är enhetslös.

6 Mätresultat

I detta kapitel presenteras resultaten från de olika jämförelsemätningarna gjorda i betongen. Under varje delkapitel framgår resultatet från betongplattans teoretiskt beräknade uttorkningstid för det specifika vattencementtalet. Mätningarna fortgick tills betongplattornas relativa fuktigheter kommit ner till ca 85 % RH. Betongplattan med vct 0,7 mättes tills den kom ner till ca 90 % RH p.g.a. den långa torktiden.

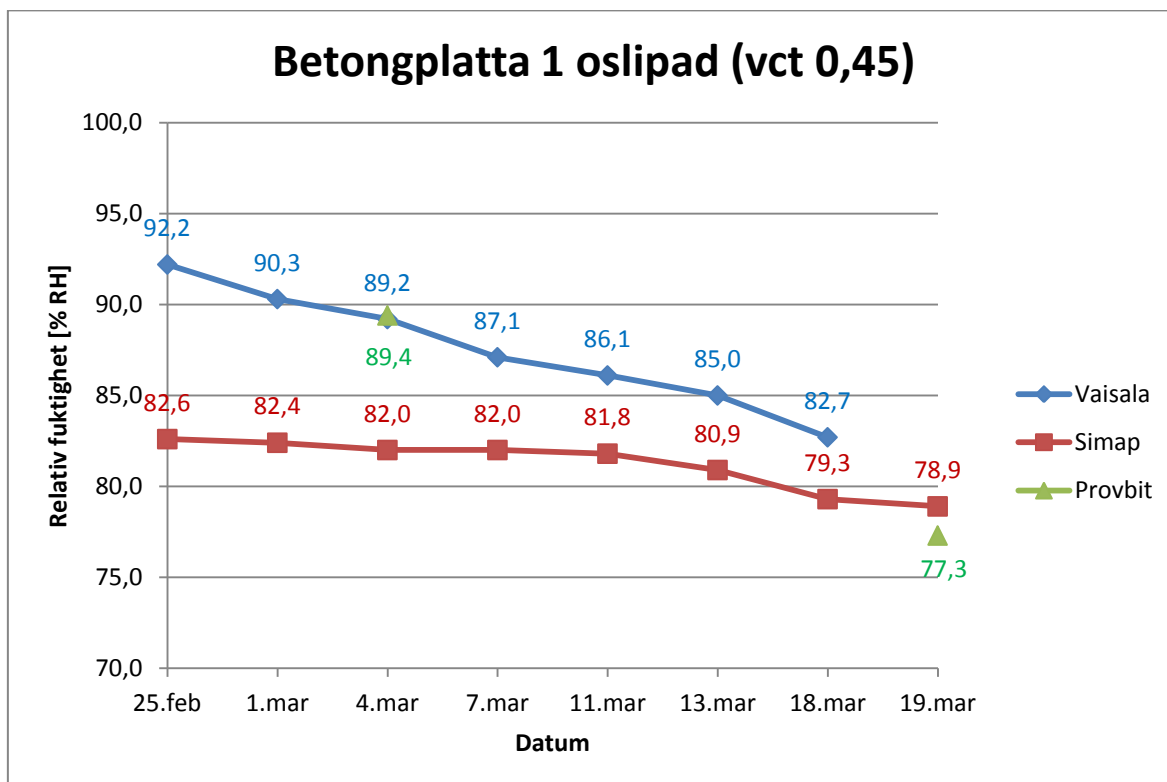
6.1 Betongplatta 1: den oslipade halvan (vct 0,45)

I denna betongplatta användes prob nr. 2 och Simapsond Sensor02. Vid fuktmätning med provbit användes prob nr. 4 de första två gångerna och prob nr. 3 den sista gången. Resultaten från de olika jämförelsemätningarna kan ses i tabell 6.

Tabell 6. Mätresultat för betongplatta 1: den oslipade halvan (vct 0,45).

DATUM	VAISALA	GANN	SIMAP (S2)	PROVBIT
14.feb	96,0 %RH, 18,2 °C	100-140	-	-
18.feb	95,5 %RH, 18,5 °C	75-110	-	92,8 %RH, 19,7 °C
20.feb	95,1 %RH, 17,7 °C	80-100	82,8 %RH, 17,3 °C	-
22.feb	94,6 %RH, 17,9 °C	80-100	82,7 %RH, 18,0 °C	-
25.feb	92,2 %RH, 18,4 °C	75-95	82,6 %RH, 18,5 °C	-
1.mar	90,3 %RH, 18,4 °C	80-95	82,4 %RH, 18,5 °C	-
4.mar	89,2 %RH, 18,3 °C	75-85	82,0 %RH, 18,8 °C	89,4 %RH, 20,5 °C
7.mar	87,1 %RH, 19,0 °C	70-80	82,0 %RH, 19,0 °C	-
11.mar	86,1 %RH, 17,1 °C	70-80	81,8 %RH, 18,0 °C	-
13.mar	85,0 %RH, 17,6 °C	70-80	80,9 %RH, 17,5 °C	-
18.mar	82,7 %RH, 17,3 °C	65-75	79,3 %RH, 17,4 °C	-
19.mar	-	-	78,9 %RH, 17,8 °C	77,3 %RH, 23,4 °C

Tabellens övre halva är mätresultat från borrhjupet 40 mm och tabellens nedre halva är mätresultaten från borrhjupet 35 mm. Det sista värdet i provbitskolumnen är för att konstatera att betongplattan har kommit ner till under 85 % RH som Vaisala-kolumnen anger. För tolkning av mätvärdena i Gann-kolumnen har tabell 1 använts. Graf över mätresultatet presenteras i figur 38.



Figur 38. Graf över mätresultatet för betongplatta 1: den oslipade halvan (vct 0,45). Mätvärdena är tagna från de datum som mätningarna utfördes på borrhjupet 35 mm. Med "Vaisala" menas borrhålsfuktmätning med Vaisalas mätprob i 16 mm hål.

I tabellerna 5.4 till 5.8 i boken *byggnadsmaterial* (sid 90 – 91) finns inga uträkningar för en betongplatta med vct 0,45. Jag har räknat ut värdena för betongplattor med vct på 0,4 och 0,5 och använt mig av mellanskillnaden för att få ett mer realistiskt värde.

Uträkning av teoretisk uttorkningslängd för vct 0,4

Tabell 5.4	% RH betongen ska torkas till = 85 %	→ 50 dygn
Tabell 5.5	Tjocklek = 10 cm	→ 0,4
Tabell 5.6	Uttorkning = enkelsidig	→ 2,0
Tabell 5.7	Omgivande temp. o RH = 35 %, 18 °C	→ 0,8
Tabell 5.8	Uttorkning till 85 % RH	→ 1,0

Uträkning: $50 \text{ dygn} * 0,4 * 2,0 * 0,8 * 1,0 = 32 \text{ dygn}$

Uträkning av teoretisk uttorkningslängd för vct 0,5

Tabell 5.4	% RH betongen ska torkas till = 85 %	→ 90 dygn
Tabell 5.5	Tjocklek = 10 cm	→ 0,4
Tabell 5.6	Uttorkning = enkelsidig	→ 2,3
Tabell 5.7	Omgivande temp. o RH = 35 %, 18 °C	→ 0,8
Tabell 5.8	Uttorkning till 85 % RH	→ 1,0

Uträkning: $90 \text{ dygn} * 0,4 * 2,3 * 0,8 * 1,0 = 66,24 \text{ dygn}$

Uträkning av teoretisk uttorkningslängd för vct 0,45

Uträkning: $\frac{32 \text{ dygn} + 66,24 \text{ dygn}}{2} = 49,12 \text{ dygn}$

Teoretiskt tar det ca 50 dygn för min betongplatta med vct 0,45 att torka till 85 % RH.

Betongplattan blev gjuten 31.01.2013 och hade torkat till 85 % RH 13.03.2013, i verkligheten tog det 41 dygn.

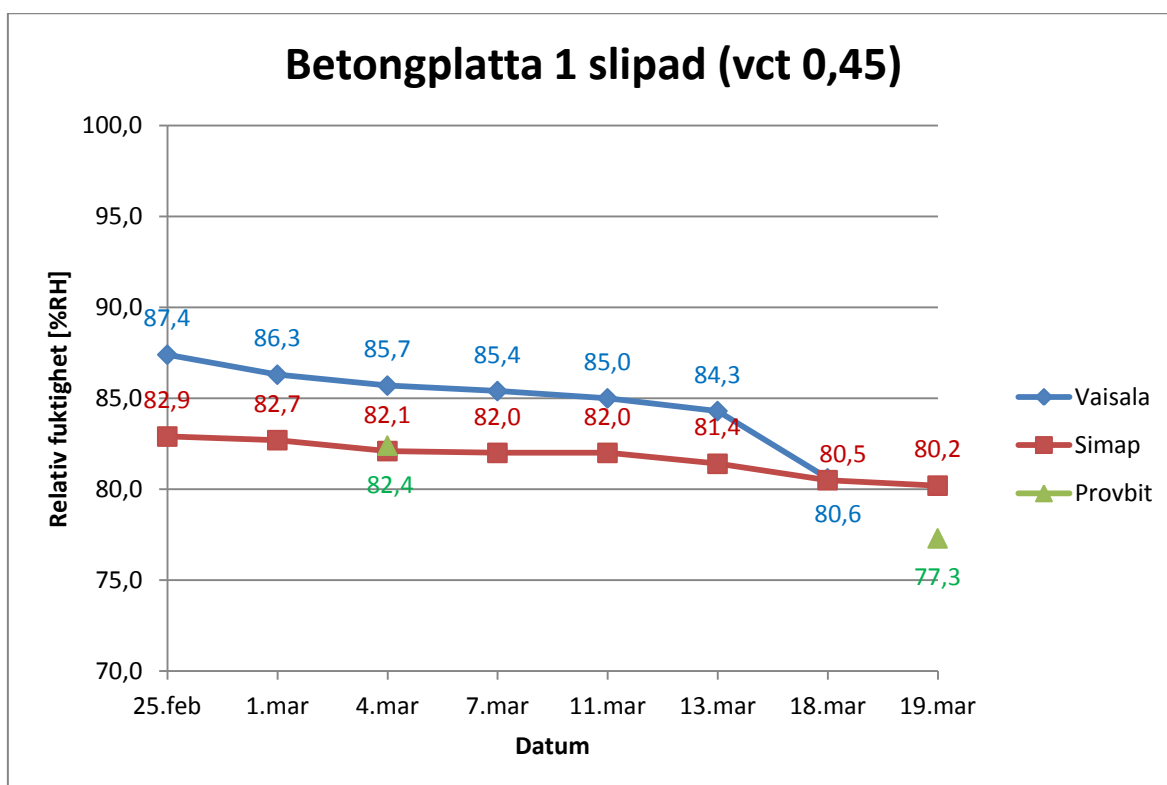
6.2 Betongplatta 1: den slipade halvan (vct 0,45)

I denna betongplatta användes prob nr. 3 och Simapsond Sensor01. Vid fuktmätning med provbit användes prob nr. 4 de första två gångerna och prob nr. 3 den sista gången. Resultaten från de olika jämförelsemätningarna kan ses i tabell 7.

Tabell 7. Mätresultat för betongplatta 1 den slipade halvan (vct 0,45).

DATUM	VAISALA	GANN	SIMAP (S1)	PROVBIT
14.feb	91,0 %RH, 18,0 °C	100-130	-	-
18.feb	89,5 %RH, 18,4 °C	75-110	-	85,1 %RH, 21,4 °C
20.feb	88,8 %RH, 17,6 °C	80-100	83,0 %RH, 17,3 °C	-
22.feb	88,3 %RH, 17,8 °C	80-100	83,0 %RH, 17,9 °C	-
25.feb	87,4 %RH, 18,4 °C	75-90	82,9 %RH, 18,5 °C	-
1.mar	86,3 %RH, 18,3 °C	75-90	82,7 %RH, 18,5 °C	-
4.mar	85,7 %RH, 18,1 °C	70-85	82,1 %RH, 18,6 °C	82,4 %RH, 20,6 °C
7.mar	85,4 %RH, 18,9 °C	70-80	82,0 %RH, 19,0 °C	-
11.mar	85,0 %RH, 18,7 °C	70-80	82,0 %RH, 18,1 °C	-
13.mar	84,3 %RH, 17,6 °C	70-80	81,4 %RH, 17,4 °C	-
18.mar	80,6 %RH, 17,1 °C	65-75	80,5 %RH, 17,3 °C	-
19.mar	-	-	80,2 %RH, 17,7 °C	77,3 %RH, 23,4 °C

Tabellens övre halva är mätresultat från borrhjupet 40 mm och tabellens nedre halva är mätresultaten från borrhjupet 35 mm. Det sista värdet i provbitskolumnen är för att konstatera att betongplattan har kommit ner till under 85 % RH som Vaisala-kolumnen anger. För tolkning av mätvärdena i Gann-kolumnen har tabell 1 använts. Graf över mätresultatet presenteras i figur 39.



Figur 39. Graf över mätresultatet för betongplatta 1: den slipade halvan (vct 0,45). Mätvärdena är tagna från de datum som mätningarna utfördes på borrhjupet 35 mm. Med "Vaisala" menas borrhålsfuktmetning med Vaisalas mätprob i 16 mm hål.

Samma uträkning som ovan. Teoretiskt tar det ca 50 dygn för min betongplatta med vct 0,45 att torka till 85 % RH. Betongplattan blev gjuten 31.01.2013 och hade torkat till 85 % RH 11.03.2013, i verkligheten tog det 39 dygn.

Vid blandningen av betongplatta 2 med vct 0,45 användes nytt fuktigare stenmaterial än vad man räknat med från början. Gruset innehöll från början 3,5 % fukt och utgående från det räknades erforderlig vattenmängd ut. Vid senare kontroll av det nya gruset innehöll det 8,9 % fukt. I bilaga 1 under rubriken *Ny fuktinnehållsuträkning för grus # 0-8mm* finns det nyare stenmaterialets fuktkvot uträknad. Detta att betongplattan fick mer fukt från stenmaterialen än vad den egentligen skulle fått, i kombination med möjligen för mycket vattenreducerande tillsatsmedel, gjorde att plattan blev helt lös och oanvändbar för fuktmätningar.

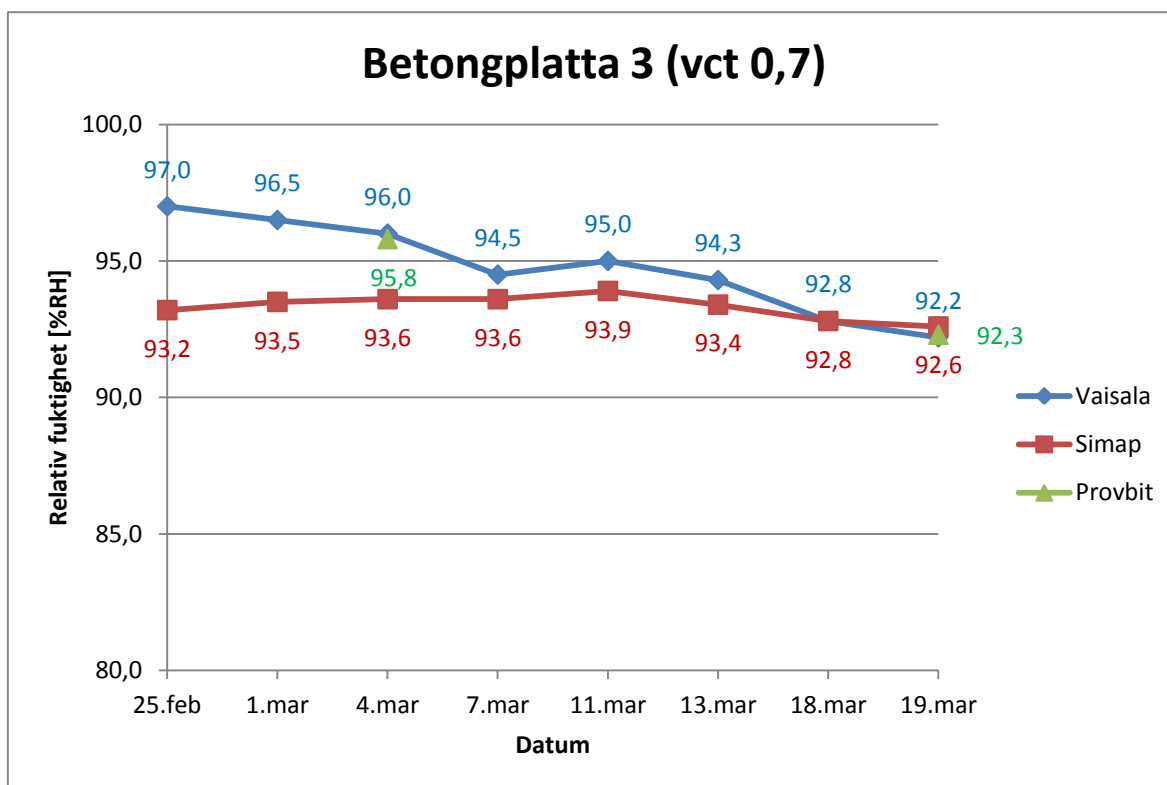
6.3 Betongplatta 3: slipad (vct 0,7)

I denna betongplatta användes prob nr. 6 och Simapsond Sensor03. Vid fuktmätning med provbit användes prob nr. 4 de första två gångerna och prob nr. 2 den sista gången. Resultaten från de olika jämförelsemätningarna kan ses i tabell 8.

Tabell 8. Mätresultat för betongplatta 3 (vct 0,7)

DATUM	VAISALA	GANN	SIMAP (S3)	PROVBIT
14.feb	99,4 %RH, 17,6 °C	120-140	-	-
18.feb	99,3 %RH, 18,0 °C	80-100	-	98,1 %RH, 20,1 °C
20.feb	99,3 %RH, 17,3 °C	80-95	93,2 %RH, 16,8 °C	-
22.feb	99,1 %RH, 17,5 °C	80-95	93,0 %RH, 17,7 °C	-
25.feb	97,0 %RH, 18,2 °C	75-95	93,2 %RH, 18,3 °C	-
1.mar	96,5 %RH, 18,3 °C	75-85	93,5 %RH, 18,3 °C	-
4.mar	96,0 %RH, 18,1 °C	70-80	93,6 %RH, 18,9 °C	95,8 %RH, 20,3 °C
7.mar	94,5 %RH, 18,7 °C	70-80	93,6 %RH, 18,7 °C	-
11.mar	95,0 %RH, 18,4 °C	70-80	93,9 %RH, 17,6 °C	-
13.mar	94,3 %RH, 17,1 °C	70-80	93,4 %RH, 16,9 °C	-
18.mar	92,8 %RH, 16,9 °C	70-80	92,8 %RH, 16,9 °C	-
19.mar	92,2 %RH, 17,2 °C	70-80	92,6 %RH, 17,4 °C	92,3 %RH, 23,2 °C

Tabellens övre halva är mätresultat från borrhjupet 40 mm och tabellens nedre halva är mätresultaten från borrhjupet 35 mm. För tolkning av mätvärdena i Gann-kolumnen har tabell 1 använts. Graf över mätresultatet presenteras i figur 40.



Figur 40. Graf över mätresultatet för betongplatta 3: slipad (vct 0,7). Mätvärdena är tagna från de datum som mätningarna utfördes på borrhjupet 35 mm. Med "Vaisala" menas borrhålsfuktmätning med Vaisalas mätprob i 16 mm hål.

Uträkning av teoretisk uttorkningslängd för vct 0,7

Tabell 5.4 % RH betongen ska torkas till = 90 % → 95 dygn

Tabell 5.5 Tjocklek = 10 cm → 0,4

Tabell 5.6 Uttorkning = enkelsidig → 3,2

Tabell 5.7 Omgivande temp. o RH = 35 %, 18 °C → 0,8

Tabell 5.8 Uttorkning till 90 % RH, torr väderlek → 0,7

Uträkning: $95 \text{ dygn} * 0,4 * 3,2 * 0,8 * 0,7 = 68,096 \text{ dygn}$

Teoretiskt tar det ca 69 dygn för min betongplatta med vct 0,7 att torka till 90 % RH. Betongplattan blev gjuten 31.01.2013 och hade torkat till ca 90 % RH 11.04.2013, i verkligheten tog det 70 dygn.

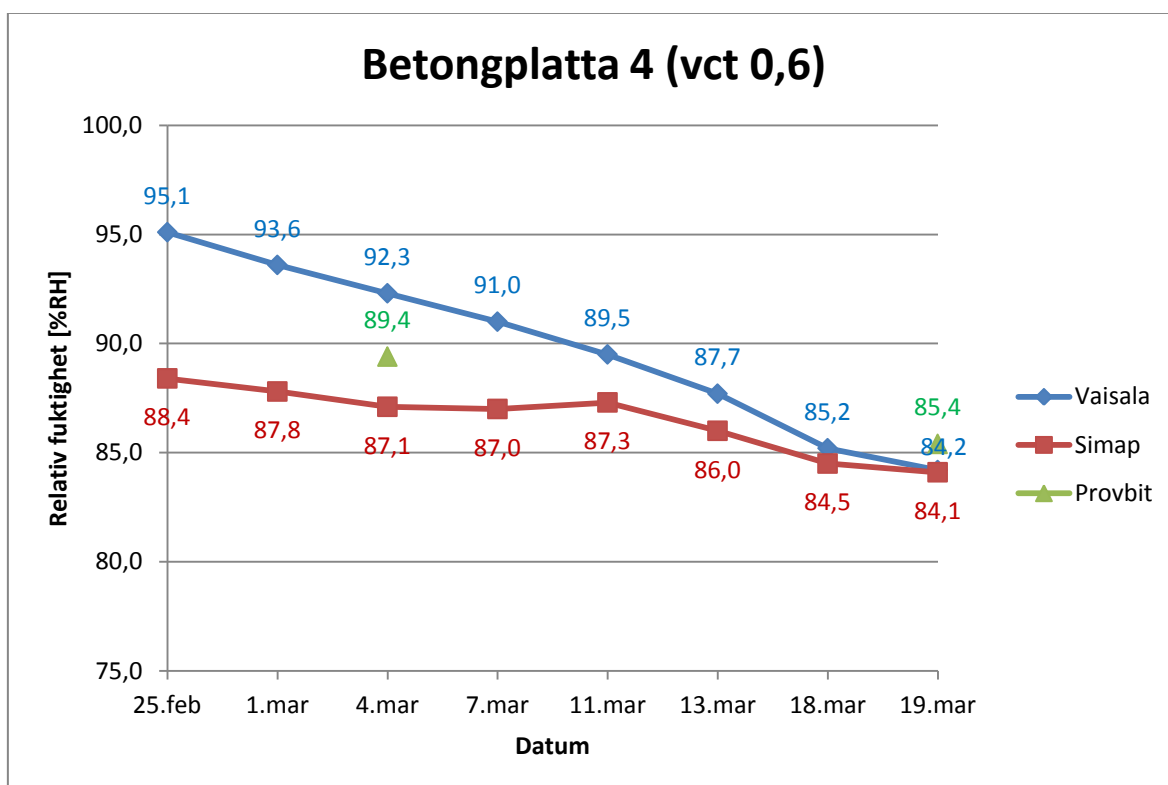
6.4 Betongplatta 4: slipad (vct 0,6)

I denna betongplatta användes prob nr. 5 och Simapsond Sensor04. Vid fuktmätning med provbit användes prob nr. 4 alla tre gånger. Resultaten från de olika jämförelsemätningarna kan ses i tabell 9.

Tabell 9. Mätresultat för betongplatta 4 (vct 0,6).

DATUM	VAISALA	GANN	SIMAP (S4)	PROVBIT
14.feb	98,4 %RH, 17,6 °C	90-140	-	-
18.feb	97,4 %RH, 18,1 °C	80-95	-	97,2 %RH, 20,8 °C
20.feb	97,2 %RH, 17,1 °C	80-95	89,9 %RH, 16,6 °C	-
22.feb	96,9 %RH, 17,3 °C	80-90	89,0 %RH, 17,5 °C	-
25.feb	95,1 %RH, 18,0 °C	70-85	88,4 %RH, 18,3 °C	-
1.mar	93,6 %RH, 18,1 °C	75-90	87,8 %RH, 18,2 °C	-
4.mar	92,3 %RH, 18,1 °C	70-80	87,1 %RH, 18,4 °C	89,4 %RH, 20,1 °C
7.mar	91,0 %RH, 18,5 °C	70-80	87,0 %RH, 18,6 °C	-
11.mar	89,5 %RH, 18,2 °C	70-80	87,3 %RH, 17,4 °C	-
13.mar	87,7 %RH, 16,9 °C	70-80	86,0 %RH, 16,7 °C	-
18.mar	85,2 %RH, 16,7 °C	65-75	84,5 %RH, 16,9 °C	-
19.mar	84,2 %RH, 17,1 °C	65-75	84,1 %RH, 17,6 °C	85,4 %RH, 23,5 °C

Tabellens övre halva är mätresultat från borrhjupet 40 mm och tabellens nedre halva är mätresultaten från borrhjupet 35 mm. För tolkning av mätvärdena i Gann-kolumnen har tabell 1 använts. Graf över mätvärden presenteras i figur 41.



Figur 41. Graf över mätresultatet för betongplatta 4: slipad (vct 0,6). Mätvärdena är tagna från de datum som mätningarna utfördes på borrhjupet 35 mm. Med "Vaisala" menas borrhålsfuktmetning med Vaisalas mätprov i 16 mm hål.

Uträkning av teoretisk uttorkningslängd för vct 0,6

Tabell 5.4	% RH betongen ska torkas till = 90 %	→ 65 dygn
Tabell 5.5	Tjocklek = 10 cm	→ 0,4
Tabell 5.6	Uttorkning = enkelsidig	→ 2,6
Tabell 5.7	Omgivande temp. o RH = 35 %, 18 °C	→ 0,8
Tabell 5.8	Uttorkning till 90 % RH, torr väderlek	→ 0,5

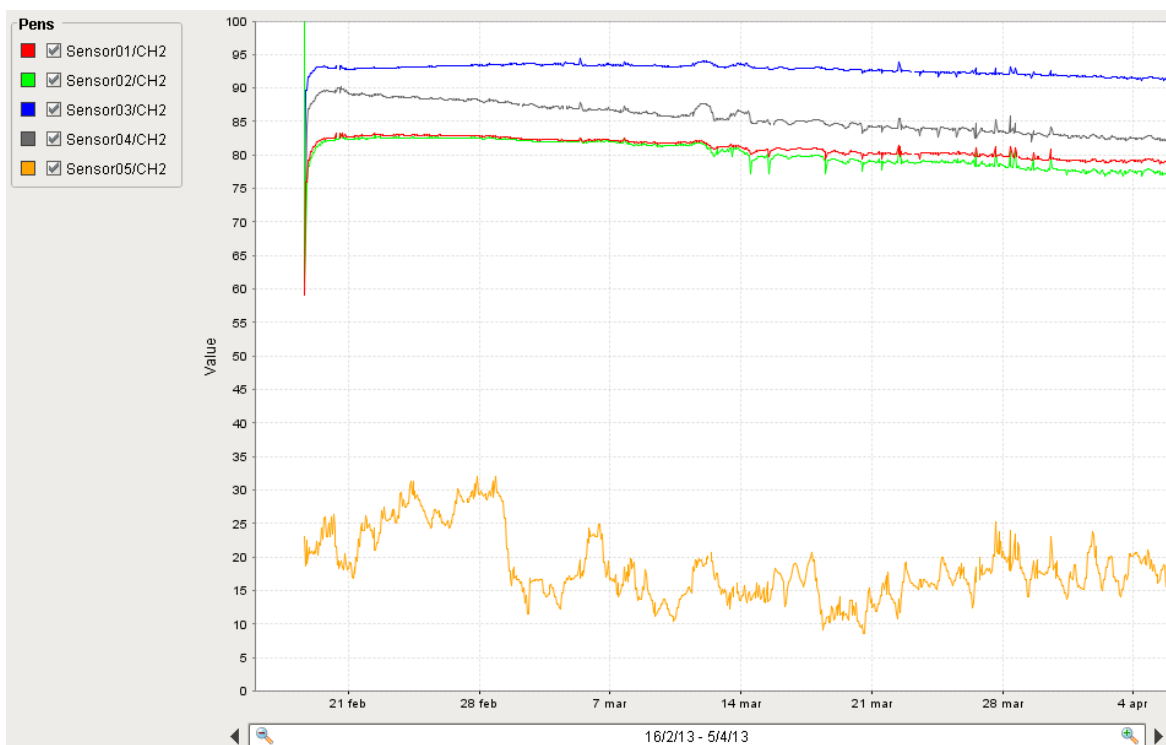
Uträkning: $65 \text{ dygn} * 0,4 * 2,6 * 0,8 * 0,5 = 27,04 \text{ dygn}$

Teoretiskt tar det alltså ca 28 dygn för min betongplatta med vct 0,6 att torka till 90 % RH.⁸⁵ Betongplattan blev gjuten 31.01.2013 och hade torkat till 90 % RH 06.03.2013, i verkligheten tog det 34 dygn.

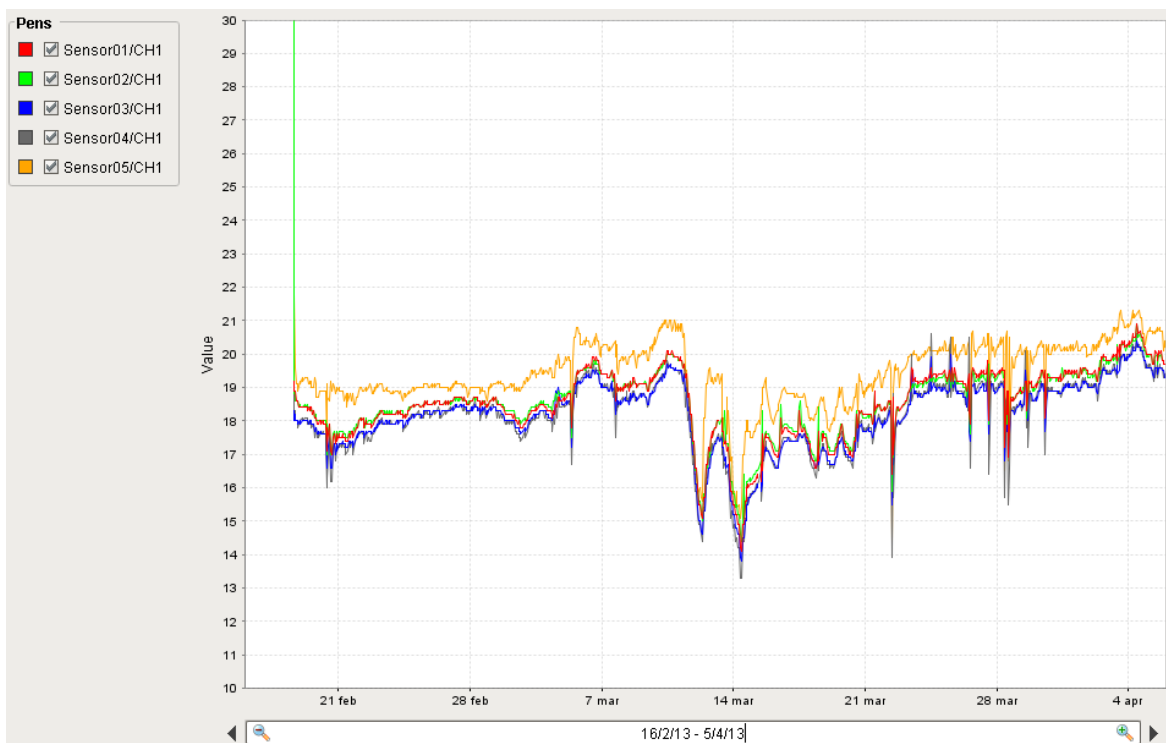
6.5 Graf över betongens uttorkning med Simap

I figur 42 och 43 kan ses resultatet från vad Simap-sonderna loggat till servern. Sensor01 (röd färg) är sonden som är i den slipade halvan på betongplatta 1 med vct 0,45. Sensor02 (grön färg) är sonden i den oslipade halvan i betongplatta 1 med vct 0,45. Sensor03 (blå färg) är sonden som är i betongplatta 3 med vct 0,7. Sensor04 (grå färg) är sonden i betongplatta 4 med vct 0,6 och Sensor05 (orange färg) är sonden som hängt fri i inomhusluften. Sondernas färger är samma i både figur 42 och figur 43.

⁸⁵ Burström 2007, s. 90–91



Figur 42. På bilden kan ses betongplattornas uttorkning inom intervallet 16.02.2013 till 05.04.2013. På y-axeln (vertikal) kan ses sondernas mätvärden angivna i den relativa fuktigheten (% RH) och på x-axeln (horisontal) kan ses datumen.



Figur 43. Bilden visar grafen över betongplattornas temperaturer inom intervallet 16.02.2013 till 05.04.2013. På y-axeln (vertikal) kan ses sondernas mätvärden angivna i temperatur (°C) och på x-axeln (horisontal) kan ses datumen.

7 Resultattolkning

Betongplattorna torkade överlag som de förväntats göra. Betongplatta 1 med vct 0,45 kom först ner till 85 % RH, vilket den också borde eftersom den hade minst byggfukt att torka ut. Betongplatta 4 med vct 0,6 kom ner till samma relativa fuktighet en vecka senare. Betongplatta 3 hann aldrig komma ner till samma relativa fuktighet. Uträkningarna av teoretiska uttorkningslängder varierade rätt mycket. De är bra att ha som riktvärden för hur länge torkningen pågår men bör inte användas som helt pålitliga.

Angående betongplatta 1 kan konstateras att fastän plattan var gjuten kompakt och halva slipades medan andra halvan inte slipades, kunde man se märkbara skillnader i mätresultaten. Den oslipade halvan hade under hela torkprocessen högre värden. För den oslipade halvan att komma ner till 85 % RH tog det två dagar längre än för den slipade halvan.

7.1 Ytfuktmätning med Gann

Utgående från tabell 1 (sid 12) kan tolkas att betongplattorna i början var våta, övergick till väldigt fuktiga, så till fuktiga, sedan till något förhöjda och slutligen till normala fuktvärden. Enda avvikelserna är betongplattan med vct 0,7 som stannade på något förhöjda eftersom mätningen, p.g.a. den långa torktiden, inte hann slutföras till 85 % RH. Överlag har mätvärdena per mätning väldigt stor spridning beroende på var på plattan man mäter och det går inte att säga exakt på vilket djup de höga uppmätta mätvärdena finns.

7.2 Borrhålsfuktmätning och fuktmätning med provbit

Fuktmätning med provbit gav mestadels lite lägre värden för den relativa fuktigheten, än vad borrhålsfuktmätning med mätprob HMP44 i 16 mm hål gjorde. Probernas resultat får kasta med ± 2 % enligt fabrikstillverkarna. Det innebär ett kast på 4 %. Eftersom det största uppmätta kastet mellan fuktmätning i provbit och borrhålsfuktmätning med mätprob i 16 mm hål är 4,4 % vid samma mätning, anser jag att dessa två mätmetoder är ordentligt genomförda och tillförlitliga.

7.3 Uppföljning av torktiden med Simap

Vid uppföljning av betongens uttorkning med Simap-sonderna kan konstateras att sonderna hela tiden visar lägre % RH vid de höga fukthalterna, än vad de andra mätmetoderna gör. Vid den första jämförelsemätningen av den relativa fuktigheten, varierade Simap-sondernas mätvärden mellan 5,8 % RH – 12,3 % RH jämt emot de värden som uppmättes via borrhålsfuktmätning. När fuktmätningarna kommer ner kring värdet 85 % RH, börjar Simap-sonderna visa ungefär samma fuktvärden och bli pålitligare.

7.4 Mätfel

Eftersom jag hade för lite prover till mitt förfogande vid fuktmätning med provbit, blev jag tvungen att öppna de tätade rören, flytta över proverna till nya rör efter avläsning och täta glasprovrören igen. Ifall jag har haft för lite stenmaterial i glasprovrören, kan luftens relativa fuktighet inte kunnat stabilisera sig igen efter att tätningen öppnats för insättande av prob i röret, vilket har lett till att mätresultatet kunnat bli lägre än vad de egentligen borde vara.

Vid fuktmätning med provbit togs första gången ett prov från rätt djup och ett försök gjordes att ta ytterligare ett referensprov ur samma hål. Ur ett hål med diameter 50 mm fanns inte tillräckligt med stenmaterial på rätt djup för att fylla två glasprovrör. Referensprovets resultat blev således från fel mätdjup och dess mätvärden kan inte jämföras med det första provets, eftersom fuktvandringen är olika på olika nivåer i betongplattan. För att undvika detta bör man borra fler hål med diametern 50 mm och ta prov på rätt nivå, alternativt borra ett större hål, t.ex. med diametern 100 mm, för att få stenmaterialet att räcka till fler glasprovrör, ifall referensprov önskas.

8 Slutsatser och kommentarer

Detta kapitel innefattar egna slutsatser från resultattolkningen, förebyggande åtgärder för hur mätfel undviks och slutligen en diskussion kring allt vad examensarbetet har inneburit, samt egna rekommendationer gällande fuktmätning i framtida byggprocesser.

8.1 Slutsatser

Det lönar sig att slipa bort cementlimmet från betongplattor, dels för att det förkortar torktiden och dels för att man får bort den sköra ytan för att få fram en fastare betong under. Fastän detta gjordes för betongplatta 3 med vct 0,7, hann plattan inte komma ner till 90 % RH under tiden de andra plattorna nådde sina mål, utan torde ännu behöva ytterligare några veckor på sig att komma ner till målet på 85 % RH.

Ytfuktmätning med Gann är en bra metod vad gäller att indikera var fukten befinner sig och hur mycket fukt det finns på utsatta områden. Vad gäller dess pålitlighet och många osäkerhetsfaktorer, är det inte en fuktmätningss metod man ska använda sig av som huvudmätmetod utan mer en metod som kan användas som hjälpmedel.

I en torkande betongplatta varierar fukthalten på olika mätdjup. Borrhålsfuktmätning med Vaisala prob i ett hål med diametern 16 mm och fuktmätning med provbit är två metoder som ger ett värde från önskat mätdjup och är på så vis trovärdiga mätmetoder för mätning av betongens relativa fuktighet.

De stora variationerna vid den höga relativa fuktigheten gör Simap till en olämplig fuktmätningss metod. Metoden kan däremot användas som referens över betongens uttorkning. Metoden är dessutom smidig med tanke på att man dygnet runt kan logga in på servern och kontrollera betongplattans relativa fuktighet och temperatur.

8.2 Förebyggande åtgärder för hur mätfel undviks

Genom användning av fuktmätningss utrustning som är kalibrerad och i gott skick minskar man risken att mätfel ska uppstå. Fuktmätningar utförda med okalibrerad utrustning kan kasta med tiotals enheter, vilket gör att mätresultaten är oanvändbara.

Att kalibrera proberna med skyddshöljet på kan orsaka missvisande värden ifall skyddshöljets filter är smutsigt under kalibreringstillfället, anger Vaisalas kundtjänst. I fortsättningen för att undvika att mätfel uppstår, kommer jag att kalibrera proberna utan skyddshölje. För att undvika avvikelser i probers eller mätgivares värden bör dessa förvaras utom räckhåll från kemikalier som kan orsaka avvikelser.

De personer som utför fuktmätningar bör vara skolade på området för att kunna utföra mätningarna rätt och efteråt klara av att tolka mätresultaten på rätt sätt. Fuktkartläggare bör även veta vilken fuktmätningstrustning som är pålitlig eller opålitlig för respektive fuktmätning.

8.3 Förslag till fortsatt forskning

Trovärdigheten bakom en självjord kalibrering borde forskas i mera. Man borde ta reda på om felmarginalerna är större än vid en fabrikskalibrering och i så fall hur mycket större. Finns det eventuella regler som anger om man har tillåtelse att utföra fuktmätningar med en självkalibrerad fuktmätningstrustning. Kan man verkligen vara säker på att man efter en utförd fuktmätning vågar fatta beslut utgående från den självkalibrerade utrustningens mätvärden.

8.4 Diskussion

Jag blev mycket förvånad över den långa torktiden på betongplattorna, dels för att de inte är så stora och dels för att de fick torka i laboriemiljö. Detta berättar mycket om hur länge en betongplatta ute på byggarbetsplatsen egentligen borde tillåtas att torka. Eftersom tid är pengar väljer tyvärr fler att inte ta så stor notis om betongens tillräckliga uttorkningslängd.

Gällande uträkning av uppskattad uttorkningstid är variationerna rätt stora. Uträkningarna enligt den bok jag använde mig av är på studentlitteraturnivå och resultatet av uträkningarna blir därefter. För större byggprojekt än gjutning av betongplattor för forskning i laboriemiljö, har bl.a. svenska Fuktcentrum ett program på internet vid namn TorkaS som man kan använda sig av.

Fuktmätningstrustningar och mätgivare bör fabrikskalibreras åtminstone en gång om året. Självkalibrerad utrustning t.ex. med fuktkalibrator HMK15 anser jag att endast borde användas av företag eller skolor som inte utför fuktmätningar så ofta, eftersom kalibreringens pålitlighet inte är den samma som vid fabrikskalibrering. Kalibrerar man själv används högst två fukthaltsreferenser, medan fabriken använder sig av sex stycken.

Enligt min åsikt borde byggherren införa obligatoriska fuktmätningar under byggprocessen och kontrollera att de som utför mätningarna är kvalificerade nog, samt kontrollera att mätutrustningen som används är kalibrerad som den ska. Kontroll av att mätutrustningen är kalibrerad kan göras t.ex. genom uppvisande av gällande kalibreringsintyg för respektive mätprob och mätgivare.

Utförandet av examensarbetet har gett mig en bättre inblick i vikten av att utföra fuktmätningar på rätt sätt. Personligen anser jag att fuktmätning i byggnader är en behövlig process i dagens samhälle för att kunna minska fukt- och mögelproblemen och på så vis få en bättre inomhusmiljö.

9 Källförteckning

Bruksanvisning Vaisala fuktkalibrator HMK15 (u.å.)

http://www.vaisala.com/vaisala%20documents/user%20guides%20and%20quick%20ref%20guides/hmk15_bruksanvisning_pa_svenska.pdf (hämtat: 22.02.2013)

Burström, P.G. (2007). *Byggnadsmaterial. Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. (2 uppl.) Studentlitteratur, Lund.

Gann Hydromette RTU 600 manual (u.å.)

http://www.gann.de/Portals/0/Attachments/BA_1670_V1.0_GB.pdf (hämtat: 19.02.2013).

Hedenblad, G. (1995). *Uttorkning av byggfukt i betong*. Byggeforskningsrådet, Stockholm.

Johansson, P. (u.å.). *Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial*. Sveriges provtagnings- och forskarinstitut, Borås.

<http://www.sp.se/sv/index/services/SPmonitor/Documents/Kritiska%20fuktillst%C3%A5nd%20mikrobiell%20p%C3%A5v%C3%A4xt.pdf> (hämtat: 18.03.2013)

Kervinen, M. & Parkkila, I. (2006). *Maols tabeller. Matematik, fysik, kemi*. Fysikavsnittet. Helsingfors.

Merikallio, T. (2009). *Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa*. Esbo, Tekniska högskolan.

Merikallio, T. (2002). *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi*. Helsingfors.

Nevander, L.E. & Elmarsson, B. (1994). *Fukthandbok. Praktik och teori*. Stockholm Ab Svensk Byggtjänst.

Petersson, B-Å. (2010). *Tillämpad byggnadsfysik*. (4 uppl.) Studentlitteratur, Lund.

Puhakka, E. & Kärkkäinen, J. (1996). *Terveellinen sisäilma*. Jyväskylä.

Riksomfattande åtgärder mot fukt och mögel (2010).

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=314455&lan=sv> (hämtat: 18.03.2013)

Rakennustieto (RT) 14-10984 (2010). *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus*.

<https://ezproxy.novia.fi:2201/kortistot/tuotteet/103082.html.stx> (hämtat: 01.02.2013)

Simap (u.å.). *Kosteusantureiden tekniset tiedot*.

www.simap.fi/tuotteet (hämtat: 12.03.2013)

Simap (u.å.). *Lämmityksen säätö esite.*

www.simap.fi/file_download/45/Saato_esite%2012s_pdf%20versio.pdf (hämtat: 16.02.2013)

Sisäilmayhdistys RY (1996). *Rakennusten kosteus- ja homevaurioiden torjunta.*
Helsingfors

Svenska Termoinstrument (u.å.). *Fuktbesiktning av byggmaterial.*

www.svenskatermoinstrument.se/media/gann-fuktaetare-uni1.pdf (hämtat: 20.03.2013)

Vaisala HUMICUP-set för fuktmätning i betong HM44 (u.å.).

http://www.vaisala.com/vaisala%20documents/user%20guides%20and%20quick%20ref%20guides/hm44_bruksanvisning_pa_svenska.pdf (hämtat: 04.03.2013)

Westerholm, T. (2008). *Mätnoggrannhet vid mätning av fuktighet i betong.*

Lärdomsprov för ingenjörsexamen. Svenska Yrkeshögskolan. Teknik och kommunikation,
Vasa.

Uträkning av fukttinhåll i stenmaterial

1(1)

Uträkning av fukttinhåll i stenmaterial

Kärl	Kärlets vikt	Vikt vått material	Mellanvägning	Vikt torrt material
1	64 g	248 g	241 g	241 g
2	100 g	571 g	555 g	555 g
3	103 g	600 g	598 g	598 g

Formel för uträkning av stenmaterialens fukttinhåll:

$$\frac{\text{Vikt vått material} - \text{Vikt torrt material}}{\text{Vikt torrt material} - \text{Kärlets vikt}} * 100 \%$$

Filler (kärl 1):

$$\frac{248 \text{ g} - 241 \text{ g}}{241 \text{ g} - 64 \text{ g}} * 100 \% = 3,95 \% \approx 4,0 \%$$

Grus # 0-8 mm (kärl 2):

$$\frac{571 \text{ g} - 555 \text{ g}}{555 \text{ g} - 100 \text{ g}} * 100 \% = 3,52 \% \approx 3,5 \%$$

Makadam # 8-16 mm (kärl 3):

$$\frac{600 \text{ g} - 598 \text{ g}}{598 \text{ g} - 103 \text{ g}} * 100 \% = 0,404 \% \approx 0,4 \%$$

Den ena betongblandningen med vct=0,45 misslyckades. Orsaken till detta är troligtvis både att det sattes för mycket vattenreducerande tillsattsmedel i den och att grusets fukthalt inne i grusbehållaren var högre än det uträknade från början.

Kärl	Kärlets vikt	Vikt vått material	Mellanvägning	Vikt torrt material
2	100 g	604 g	-	563 g

Ny fukttinhållsuträkning för grus # 0-8 mm (kärl 2):

$$\frac{604 \text{ g} - 563 \text{ g}}{563 \text{ g} - 100 \text{ g}} * 100 \% = 8,86 \% \approx 8,9 \%$$

Uträkning av betongens delmaterialmängder

1(3)

Uträkning av betongmängd:

En betongplatta: $0,1\text{m} \cdot 0,525\text{m} \cdot 1,15\text{m} = 0,060375\text{m}^3$
 $0,060375\text{m}^3 \cdot 1000 \text{ liter/m}^3 = 60,375 = 60,4 \text{ liter}$

Vid medräkning av 10% spill: $60,4 \text{ liter} \cdot 1,1 = 66,44 \text{ liter}$

Dvs. betongmängden per platta bör vara minst 67 liter

Byggnadslaboratoriets grundblandning för 20 liter K30 betong

Material	Mängd
Cement	6,8 kg
Filler	3,6 kg
Grus # 0-8	13,6 kg
Makadam # 8-16	20,0 kg
Vatten	3,2 kg

Formel för uträkning av vattencementtal:

$\frac{\text{Mängd vatten [kg]}}{\text{Mängd cement [kg]}}$

Vattencementtal 0,45

Två plattor med vct 0,45 ska tillverkas, dvs. det blir totalt fyra stycken blandningar i betongblandaren. För att få erforderlig mängd betong med spill inräknat, tas grundblandningen gånger 1,9 för varje blandning som görs.

Dvs. $1,9 \cdot 4 \text{ blandningar} = 7,6$
 $7,6 \cdot 20 \text{ liter (grundblandningen)} = 152 \text{ liter betong}$
 $152 \text{ liter} / 2 \text{ plattor} = 76 \text{ liter/platta}$

Tabell 10. Uträkning av enskilda materialmängder vid blandning av betong med vct 0,45.

Material	Mängd	Fuktkvot	Vattenmängd i material
Cement	$6,8 \text{ kg} \cdot 1,9 = 12,9 \text{ kg}$	-	-
Filler	$3,6 \text{ kg} \cdot 1,9 = 6,8 \text{ kg}$	4,0 %	$0,04 \cdot 6,8 \text{ kg} = 0,272 \text{ kg}$
Grus # 0-8	$13,6 \text{ kg} \cdot 1,9 = 25,8 \text{ kg}$	3,5 %	$0,035 \cdot 25,8 \text{ kg} = 0,903 \text{ kg}$
Makadam # 8-16	$20,0 \text{ kg} \cdot 1,9 = 38,0 \text{ kg}$	0,4 %	$0,004 \cdot 38,0 \text{ kg} = 0,152 \text{ kg}$

Tabell över de erforderliga materialmängderna som per gång sätts i betongblandaren. En blandning motsvarar 38 liter betong per betongplatta.

Uträkning av betongens delmaterialmängder	2(3)
---	------

Vattenmängd totalt i stenmaterialen till betongplattorna:

$$0,272 \text{ kg} + 0,903 \text{ kg} + 0,152 \text{ kg} = 1,327 \text{ kg}$$

Uträkning av erforderlig vattenmängd för att uppnå vct 0,45:

$$\rightarrow \frac{x \text{ (vattenmängden)}}{12,9 \text{ kg (cementmängden)}} = 0,45$$

$$\rightarrow x = 0,45 * 12,9 \text{ kg} = 5,8 \text{ kg}$$

(Dvs. 5,8 kg vatten krävs för att betongblandningen ska uppnå vct 0,45)

$$\rightarrow 5,8 \text{ kg} - 1,327 \text{ kg (vattenmängden i stenmaterialen)} = \underline{4,473 \text{ kg vatten}}$$

(Efter att ha subtraherat bort mängden vatten i stenmaterialen fås korrekt mängd vatten som ska tillsättas i betongen under blandningstillfället.)

Vattencementtal 0,6

En platta med vct 0,6 ska tillverkas, dvs. det blir två stycken blandningar i betongblandaren. För att få erforderlig mängd betong inklusive spill, tas grundblandningen gånger 1,75 för varje blandning som görs.

Dvs. $1,75 * 2 \text{ blandningar} = 3,5$

$$3,5 * 20 \text{ liter (grundblandningen)} = 70 \text{ liter betong till en platta}$$

Tabell 11. Uträkning av enskilda materialmängder vid blandning av betong med vct 0,6.

Material	Mängd	Fuktkvot	Vattenmängd i material
Cement	$6,8 \text{ kg} * 1,75 = 11,9 \text{ kg}$	-	-
Filler	$3,6 \text{ kg} * 1,75 = 6,3 \text{ kg}$	4,0 %	$0,04 * 6,3 \text{ kg} = 0,252 \text{ kg}$
Grus # 0-8	$13,6 \text{ kg} * 1,75 = 23,8 \text{ kg}$	3,5 %	$0,035 * 23,8 \text{ kg} = 0,833 \text{ kg}$
Makadam # 8-16	$20,0 \text{ kg} * 1,75 = 35,0 \text{ kg}$	0,4 %	$0,004 * 35,0 \text{ kg} = 0,140 \text{ kg}$

Tabell över de erforderliga materialmängderna som per gång sätts i betongblandaren. En blandning motsvarar 35 liter betong per betongplatta.

Vattenmängd totalt i stenmaterialen till betongplattorna:

$$0,252 \text{ kg} + 0,833 \text{ kg} + 0,140 \text{ kg} = 1,225 \text{ kg}$$

Uträkning av betongens delmaterialmängder	3(3)
---	------

Uträkning av erforderlig vattenmängd för att uppnå vct 0,6:

$$\rightarrow \frac{x \text{ (vattenmängden)}}{11,9 \text{ kg (cementmängden)}} = 0,6$$

$$\rightarrow x = 0,6 * 11,9 \text{ kg} = 7,14 \text{ kg}$$

(Dvs. 7,14 kg vatten krävs för att betongblandningen ska uppnå vct 0,6)

$$\rightarrow 7,14 \text{ kg} - 1,225 \text{ kg (vattenmängden i stenmaterialen)} = \underline{5,915 \text{ kg vatten}}$$

(Efter att ha subtraherat bort mängden vatten i stenmaterialen fås korrekt mängd vatten som ska tillsättas i betongen under blandningstillfället.)

Vattencementtal 0,7

En platta med vct 0,7 ska tillverkas, dvs. det blir två stycken blandningar i betongblandaren. För att få erforderlig mängd betong inklusive spill, tas grundblandningen gånger 1,75 för varje blandning som görs.

Dvs. $1,75 * 2 \text{ blandningar} = 3,5$

$$3,5 * 20 \text{ liter (grundblandningen)} = 70 \text{ liter betong till en platta}$$

Tabell 12. Uträkning av enskilda materialmängder vid blandning av betong med vct 0,7.

Material	Mängd	Fuktkvot	Vattenmängd i material
Cement	$6,8 \text{ kg} * 1,75 = 11,9 \text{ kg}$	-	-
Filler	$3,6 \text{ kg} * 1,75 = 6,3 \text{ kg}$	4,0 %	$0,04 * 6,3 \text{ kg} = 0,252 \text{ kg}$
Grus # 0-8	$13,6 \text{ kg} * 1,75 = 23,8 \text{ kg}$	3,5 %	$0,035 * 23,8 \text{ kg} = 0,833 \text{ kg}$
Makadam # 8-16	$20,0 \text{ kg} * 1,75 = 35,0 \text{ kg}$	0,4 %	$0,004 * 35,0 \text{ kg} = 0,140 \text{ kg}$

Tabell över de erforderliga materialmängderna som per gång sätts i betongblandaren. En blandning motsvarar 35 liter betong per betongplatta.

Vattenmängd totalt i stenmaterialen till betongplattorna:

$$0,252 \text{ kg} + 0,833 \text{ kg} + 0,140 \text{ kg} = 1,225 \text{ kg}$$

Uträkning av erforderlig vattenmängd för att uppnå vct 0,7:

$$\rightarrow \frac{x \text{ (vattenmängden)}}{11,9 \text{ kg (cementmängden)}} = 0,7$$

$$\rightarrow x = 0,7 * 11,9 \text{ kg} = 8,330 \text{ kg}$$

(Dvs. 8,330 kg vatten krävs för att betongblandningen ska uppnå vct 0,7)

$$\rightarrow 8,330 \text{ kg} - 1,225 \text{ kg (vattenmängden i stenmaterialen)} = \underline{7,105 \text{ kg vatten}}$$

