

Fuktmätning i betonggolv

- Hur gör man det rätt?

Linus Samberg | Byggnadsmaterial | LTH | Lunds universitet



Fuktmätning i betonggolv

Hur gör man det rätt?

Linus Samberg



LUND
UNIVERSITY

Master Thesis, Report 5131, Division of Building Materials, Faculty of Engineering, Lund University, Lund, 2023

Examensarbete, Rapport 5131, Avdelningen Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund, 2023

Fuktmätning i betonggolv – Hur gör man det rätt?

Moisture measurement in concrete floors – How to do it right?

Linus Samberg

Report 5131

ISRN LUTVDG/TVBM-23/5131-SE

Antal sidor/Number of pages: 76

Sökord/Keywords

Fuktmätning, betong, golvbeläggning, fukt.

© Copyright: Division of Building Materials, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2023
Avdelningen Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2023.

Byggnadsmaterial
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.byggnadsmaterial.lth.se

Division of Building Materials
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden
www.byggnadsmaterial.lth.se/english

Sammanfattning

För att säkerställa att golvbeläggningar inte skadas efter att de monterats på ett betonggolv är det viktigt att veta betonggolvet fuktillstånd. För att mäta fuktillståndet i betong har Rådet för byggkompetens tillsammans med Byggföretagen givit ut en fuktmättningsmanual. I manualen beskrivs en metod som kallas för borrhålmätning.

Metoden går ut på att ett hål borrar i betongen. I borrhålet monteras sedan ett mätrör. Inuti mätröret monteras en givare som mäter RF-nivån i den luftvolym som bildas mellan betongen, givaren och mätröret. Diskussioner om metoden och dess osäkerheter har framkommit i artiklar och rapporter från bland annat Husbyggaren och SBUF (Svenska byggbranschens utvecklingsfond). Frågan som har uppkommit är om den nuvarande metoden för fuktmätning i betong är den mest lämpliga och om det finns potential för utveckling.

Detta examensarbete har bestått av experimentella försök där olika mätmetoder och givare har testats mot varandra. Mätningarna av RF har genomförts på två olika typer av betong: en med CEM II cement och en där 50 % av bindemedlet bestod av slagg. Två olika typer av givare har använts, Vaisala och HumiGuard. RBKs borrhålmätning har använts som referensmetod och jämförts med två andra mätmetoder. Den första metoden innefattade mätningar av RF i ingjutna mätrör, medan den andra metoden använde uttagna prov som vägdes och utsattes för olika RF med hjälp av en fuktgenerator. Genom att se hur massan på proven ändrades kunde betongens RF estimeras.

Resultaten av undersökningen visar att det inte finns någon systematisk skillnad i uppmätt RF mellan de två fabrikaten av givare. De observerade skillnaderna var slumpmässiga.

Mätningar av RF i borrhål och i ingjutna mätrör visade liknande RF-nivåer och skillnaden mellan metoderna var i samma storleksordning som mätosäkerheten för givarna.

Metoden med fuktgenerator visade högre RF för betong utan slagg jämfört med borrhålmätning, medan den visade lägre RF för betong med slagg jämfört med borrhålmätning. Vilken av metoderna som visar "verklig RF" för betongen går inte att veta, men att dem visar olika RF betyder att någon av metoderna behöver utvecklas.

Abstract

To ensure the preservation of floor coverings, it is crucial to possess knowledge regarding the moisture content in the concrete floor prior to installation. In order to measure moisture content in concrete, "Rådet för byggkompetens (RBK)" in conjunction with "Byggföretagen" have published a manual for moisture measurement. This manual outlines a method for moisture measurement utilizing Relative Humidity, RH measurement in boreholes.

The process entails drilling a hole in the concrete and subsequently inserting a measurement tube into the bored hole. Within the measurement tube, a sensor is installed to measure the RH level within the air volume formed between the concrete, the sensor, and the measurement tube. Discussions regarding the method and its uncertainties have surfaced in articles and reports from "Husbyggaren" and SBUF (The Development Fund of the Swedish Construction Industry). The question that has arisen pertains to whether this is the appropriate method for measuring moisture in concrete and how it can be improved.

This master's thesis comprises experimental work wherein various measurement methods and sensors have been compared. Moisture measurements were conducted on two distinct concrete types: one utilizing CEM II cement and another with 50 % of the binder composed of slag. Two different sensor brands were used, Vaisala and HumiGuard. RBK's borehole measurement served as the reference method and was compared against two alternative measurement methods. The first method involved moisture measurements in cast-in measurement tubes, while the second method utilized extracted samples that were weighed and exposed to different RH levels using a moisture generator. By observing the mass changes of the samples, the concrete's RH could be estimated.

The results of the experiments indicate that there is no systematic difference between the two sensor brands. Any observed differences were of a random nature.

RH measurements in both boreholes and cast-in measurement tubes demonstrated similar RH levels, with the difference between the methods being within the range of measurement uncertainty of the sensors.

The method with the moisture generator indicated higher RH levels for concrete without slag compared to borehole measurements, while it showed lower RH levels for concrete with slag compared to borehole measurements. It is not possible to determine which of the methods accurately reflects the "true RH" for the concrete. However, the fact that they show differing RH levels necessitates further development of one of the methods.

Förord

Detta examensarbete betecknar avslutet på mina studier på Lund Tekniska Högskola inom civilingenjörsprogrammet väg- och vattenbyggnad. Examensarbetet har skrivits vid avdelningen för Byggnadsmaterial med Peter Johansson som handledare och Magnus Åhs som examinator.

Jag vill framför allt tacka min handledare Peter Johansson för god handledning genom hela arbetet. Tack till Stefan Backe som har hjälpt mig med det laborativa arbetet samt varit en god tillgång för att praktiskt utföra fuktmätningar i betong. Tack till Magnus Åhs som har granskat och givit konstruktiv kritik för att förbättra rapportens utformning. Tack till David Wahlbom som har hjälpt mig med gjutning av provkroppar.

Linus Samberg
Lund, 20 juni 2023

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Frågeställningar	3
2	Teori	5
2.1	Fuktteori	5
2.1.1	Ånghalt	5
2.1.2	Fukthalt och fuktkvot	5
2.1.3	Fukttransport i ång- och vätskefas	5
2.1.4	Absorption och desorption	6
2.2	Betongteori	7
2.2.1	Delmaterial i betong och val av bindemedel	7
2.2.2	Hydratisering av bindemedel	7
2.2.3	Vattencementtal och vattenbindemedelstal	7
2.2.4	Porositet och cementpastans struktur	8
2.3	Fukt i betong	8
3	Metod	11
3.1	Provkroppar	11
3.1.1	Förberedning av gjutformar	11
3.1.2	Betongrecept	13
3.1.3	Gjutning av provkroppar	13
3.1.4	Förvaring av provkroppar under härdning	14
3.1.5	Sammanställning av provkroppar	16
3.2	Fuktmätningar	16
3.2.1	Provningsplan	16
3.2.2	Fabrikat av givare	17
3.2.3	Mätning av RF i borrhål	21
3.2.4	Mätning av RF i ingjutet mätrör	24
3.2.5	Uttaget prov i fuktgenerator	25
4	Resultat och analys	31
4.1	Borrhålmätning: Jämförande mellan olika fabrikat av givare	31
4.1.1	Analys och diskussion	31
4.2	Borrhålmätning: Försegling runt borrhål	33
4.2.1	Analys och diskussion	33
4.3	Mätning av RF i borrhål jämfört med i ingjutna mätrör	34
4.3.1	Analys och diskussion	34

4.4	Mätning av RF i borrhål jämfört med uttagna prov i fuktgenerator . . .	36
4.4.1	Analys och diskussion	36
5	Slutsats	39
6	Förslag till fortsatta studier	41
	Litteraturförteckning	43
A	Provningsplan	45
B	Mätdata: Vaisala	47
C	Mätdata: HumiGuard	57
D	Mätdata: Uttagna prov i fuktgenerator	63

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Innan montering av en golvbeläggning på ett betonggolv behövs det säkerställas att betongen är tillräckligt uttorkad för att minska risken att golvbeläggningen skadas. För att beskriva hur fuktig en betong är används benämningen fukttillstånd och anges oftast i storheten relativ fuktighet, RF [1]. Fukttillståndet då ett material skadas benämns som kritiskt fukttillstånd och introducerades år 1987 av Hedenblad och Nilsson [2]. Enligt Boverkets byggregler, BBR i avsnitt 6:53 får inte fukttillståndet i en byggnadsdel överskrida de kritiska fukttillstånden för de material som ingår i byggnadsdelen [3]. I tabell 1.1 visas kritiska fukttillstånd för några olika material. För att en plastmatta skall få lov att monteras på ett betonggolv måste betongen torkats ut till under 85 % RF för att undgå risken för kemisk nedbrytning av limmet [4].

Tabell 1.1: Samling av kritiska fukttillstånd för några olika material. Data från Burström och Nilvér [4].

Material, skada	RF [%]		
	Ingen risk	Måttlig risk	Stor risk
Trä, rötangrepp	<75	75-95	>95
Trä mögelangrepp	<70	70-85	>85
Oskyddat stål, rost	<60	70	
Lim för plastmattor, nedbrytning	<85	90	

För att säkerställa att betongen är tillräckligt torr innan en golvbeläggning monteras utförs fuktmätningar. Rådet för byggkompetens eller förkortat RBK är ett samarbetsorgan som verkar för att ge byggbranschen tillgång till aktuella utbildningar för att hålla en hög kompetensnivå. RBK förvaltar systemet RBK-auktoriserad fuktkontrollant och har tillsammans med Byggföretagen givit ut en fuktmätningmanual. Fuktmätningmanualen beskriver hur mätningar av fukttillståndet skall utföras i betong. Den metod som beskrivs i manualen är mätning av RF i borrhål. Metoden går ut på att ett hål borraras ner i betongen för att sedan förse borrhålet med ett mätrör. I mätröret monteras en givare som mäter RF-nivån i den luftvolym som bildas mellan betong, givare och mätrör. För att ge en representativ RF för betongen måste luftvolymen stå i fuktjämvikt med betongen annars kan fukttillståndet inte mätas [1].

Borrhålmätningar i betong har undersökts i flera olika projekt, till exempel SBUF-projekt 12656 [5] och SBUF-projekt 12941 [6]. I både SBUF-projekt 12656 och 12941 undersöktes både mätningar av RF på uttaget prov och borrhålmätningar. Utifrån undersökningarna kunde det ses att mätningar av RF på uttaget prov underskattade RF i betongen. Vid provtagning ökade temperaturen i betongen vilket resulterade i att proven torkade vid hantering. Idag ingår endast borrhålmätning i RBK-systemet och mätning av RF på uttaget prov ses inte längre som en tillförlitlig mätmetod. I

SBUF-projekt 12656 och 12941 utfördes även borrhålsmätningar med olika avsteg från RBK-systemet för att identifiera kritiska faktorer. Slutsatserna blev att givare inte bör monteras tidigare än tre dagar efter att mätthålet borrats och att återmontage av givare i tidigare använda borrhål skall undvikas.

I en artikel från Husbyggaren, *Konsten att förstå sig på läckande mätthål i betong* skriver Bergström och Brander [7] att läckande mätthål kommer att ge en rabatt på uppmätt RF och skulle därför aldrig kunna ge en representativ RF för betongen. För att minska läckaget används olika typer av tätningar som består av ett material med låg ånggenomsläpplighet. Även om tätningen förhindrar luft att läcka från mätthålet menar Bergström och Brander att fukt kan transporteras genom betongen och ändå ge en rabatt på uppmätt RF.

Bergström och Selander [8] skriver i artikeln *En resa i borrhålets förlovade värld* i Husbyggaren hur temperaturutvecklingen i samband med borrning av mätthål påverkar uppmätt RF. Borrstålets temperatur kan överstiga 150 °C vid borrning av ett mätthål. Bergström och Selander menar på att temperaturutvecklingen spelar en viktig roll för hur snabbt luftvolymen i mätthålet kommer i jämvikt med betongen. En avläsning med givare tätt inpå att hålet borrats kan därför ge ett relativt stort mätfel.

2022 lanserade Svensk betong [9] sin andra utgåva av *Vägledning Klimatförbättrad betong*. Målen är att år 2030 skall klimatneutral betong finnas på marknaden. Produktionen av cement är en av de större orsakerna till betongtillverkningens klimatavtryck. För att minska användningen av cement kan delar av cementet ersättas av bland annat slagg. Carlswärd [10] skriver att inblandningen av slagg kan förbättra betongens uttorkningsegenskaper gentemot ifall endast ett rent portlandcement används.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utreda hur uppmätt RF i betong skiljer sig beroende på vilken mätmetod och givare som används. Syftet är att undersöka hur mätningar av RF skiljer sig i en betong med enbart CEM II cement och en betong där 50 % av bindemedlet ersatts av granulerad masugnsslagg.

Vidare är syftet att utveckla en kompletterande laboriemässig mätmetod med vilken det är möjligt att bestämma betongens RF utan att använda givare. Målsättningen är att denna metod skall vara så enkel som möjligt med ett minimum av felkällor. Slutligen kommer uppmätt RF från denna laboriemässiga metod jämföras med RBKs mätmetod, borrhålsmätning.

1.3 Frågeställningar

Utöver syftet för detta examensarbete presenteras även följande frågeställningar.

- Hur skiljer sig de uppmätta värdena för relativ fuktighet i betong när man använder Vaisala-givare jämfört med HumiGuard-givare?
- Hur skiljer sig de uppmätta värdena för relativ fuktighet i betong när borrhålsmätning används jämfört med en annan metod där borrhning inte är nödvändig?
- Är borrhålsmätning den metoden som bör användas för att bestämma nivån av relativ fuktighet i betong eller kan den förbättras?

2 Teori

2.1 Fuktteori

2.1.1 Ånghalt

Ånghalt definieras som mängden vattenånga, v [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$], i en kubikmeter luft. Den totala mängden vattenånga som luften kan innehålla är beroende av temperaturen, T [$^{\circ}\text{C}$] och benämns som mättnadsånghalt, $v_m(T)$ [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$]. Förhållandet mellan mättnadsånghalten och den aktuella ånghalten i luften benämns som den relativa fuktigheten, RF [%] och beräknas enligt ekvation 2.1 [11].

$$\text{RF} = \frac{v}{v_m(T)} \quad (2.1)$$

När temperaturen sjunker, minskar även mättnadsånghalten för luften. Om ånghalten i luften överstiger mättnadsånghalten kommer vattenånga att kondensera, dvs. att RF inte kan vara högre än 100 %.

2.1.2 Fukthalt och fuktkvot

Fukthalten, W_e [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$] beskriver massan av det förångningsbara vattnet i ett material, m_w [kg] per volymenhet, V [m^3]. Det förångningsbara vattnet är det vatten som avgår från materialet när det torkas i 105°C och utgörs av adsorberat, kapillärt bundet och fritt vatten. Fukthalten i ett material beräknas enligt ekvation 2.2 [4].

$$W_e = \frac{m_w}{V} \quad (2.2)$$

Mängden fukt i ett material kan även anges som fuktkvot, u [$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$]. Fuktkvoten beskriver förhållandet mellan det förångningsbara vattnets massa m_w [kg] och torra materialets massa m_t [kg]. Fuktkvoten beräknas enligt ekvation 2.3 [4].

$$u = \frac{m_w}{m_t} \quad (2.3)$$

2.1.3 Fukttransport i ång- och vätskefas

Fukttransport i ett material kan ske i vätskefas och ångfas. Fukttransport i vätskefas sker i form av kapillärtransport av fritt vatten. Fukttransport i ångfas kan delas

upp i diffusion och konvektion. Diffusion är den spontana transporten av vattenånga som drivs av ojämnheter i ånghalt. Vattenmolekyler i luften kommer röra sig från områden med hög koncentration till låg koncentration ånghalt. Konvektion är transport i luftrörelser, dvs. att vattenånga kan transporteras via luftflöden [11].

2.1.4 Absorption och desorption

Fukt kan absorberas i ett material på två olika sätt, absorption av fritt vatten och absorption av vattenånga från luften. När vatten absorberas kan det vara mer eller mindre starkt bundet i materialet. Absorberat vatten kan vara bundet på tre olika sätt [4].

- Adsorberat vatten: Vattenmolekyler som adsorberats mot porernas ytor och bildar skikt som är ett fåtal molekyler tjocka.
- Kapillärt vatten: Vatten som är bundet i porerna genom kapillärkondensation eller kapillär sugning.
- Fritt vatten: Vatten i materialets grövsta porer. Fritt vatten är det vatten som är svagast bundet till materialet.

Ett material som kan absorbera fukt från luften benämns som hygroskopiskt. Om ett hygroskopiskt material förvaras en längre tid i ett klimat med konstant temperatur och RF kommer materialets fukthalt att ställa in sig med det omgivande klimatet. Fukthalten i materialet när jämvikt råder mellan material och klimat benämns som jämviktsfukthalt. Om RF i omgivande klimat ökar kommer även fukthalten i materialet att öka tills att ny jämvikt infinner sig. Jämviktsfukthalten kan beskrivas med en jämviktsisoterm, även kallat sorptionsisoterm. Jämviktsfukthalten är beroende av ifall ett material är under uppfuktning (absorption) eller uttorkning (desorption). Ett material som var torrt från början kommer att ha en lägre jämviktsfukthalt än ett material som var fuktigare från början. Detta fenomen kallas för hysteres [4].

Sorptionsisotermen för ett material är framtagen under isoterma förhållanden, konstant temperatur. Om temperaturen i materialet ökar medför detta att sorptionsisotermen sjunker. Vilket innebär att materialet inte längre kan binda samma mängd fukt vid en specifik RF i luften [11].

Mängden fukt som ett material kan absorbera i förhållande till att RF-nivån ändras benämns som materialets fuktkapacitet och definieras som lutningen på sorptionsisotermen. Ett material med brantare sorptionsisoterm kommer därför ha en högre fuktkapacitet [4]. Fuktkapacitet är en viktig faktor för hur ett system av olika material och luft går till jämvikt. Ett material med hög fuktkapacitet behöver absorbera mer fukt för att komma i jämvikt än ett material med låg fuktkapacitet [12].

2.2 Betongteori

2.2.1 Delmaterial i betong och val av bindemedel

Betong består av fyra olika delmaterial, bindemedel, vatten, ballast och tillsatsmedel. Bindemedlet utgörs vanligtvis av cement som är ett hydrauliskt bindemedel och tillsammans med vatten bildar det cementpasta. Cementpastan binder samman ballastkornen som utgörs av olika stora fraktioner. Fraktionerna benämns vanligtvis som t.ex. 4/8 mm vilket betyder att ballasten innehåller fraktioner mellan 4 till 8 mm. För att ändra betongens egenskaper kan tillsatsmedel tillsättas i betongblandningen, till exempel flyttillsatsmedel för att göra den färska betongen lättare att bearbeta även vid låga vattencementtal, vct [4].

Val av bindemedel har stor betydelse för betongens egenskaper. Cementets kemiska sammansättning påverkar betongens hanterbarhet, gjutbarhet och beständighet [13]. För att minska mängden cement i en betong kan en del ersättas av bland annat granulerad masugnsslagg eller slarvigt förkortat slagg. Slagg är en restprodukt från järnindustrin och kan ersätta mellan 10 till 60 % av mängden cement [4].

2.2.2 Hydratisering av bindemedel

När vatten blandas med cement initieras hydratisering av cementkornen vilket resulterar i bildandet av cementpasta. Hur stor andel av mängden cement som hydratiserats anges som ett hydratiseringstal mellan 0 till 1. Enligt Silfwerbrand et al [13] ökar andelen ohydratiserade cementkorn vid låga vct. Ohydratiserad cement kan genom rimliga antagen påverka fukthalten i en betong när den utsätts för borrning eller spräckning. Ohydratiserade cementkorn kan komma i kontakt med vatten i porsystemet och hydratiseras.

Hydratiseringen av cementet pågår under långtid, så länge det finns tillgång till vatten i betongen. Hydratiseringen avstannar nästan helt ifall betongens fukttillstånd understiger 80 % RF [4].

Slagg är ett latent hydrauliskt bindemedel, vilket betyder att hydratationen av slaggkornen måste aktiveras. När cement hydratiseras skapas en alkalisk miljö som aktiverar hydratiseringen av slagget. Slagg kan därav inte ersätta 100 % av cementet [4].

2.2.3 Vattencementtal och vattenbindemedelstal

Vattencementtalet, vct beskriver förhållandet mellan mängden vatten, W [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$] och mängden cement, C [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$]. Vct beräknas enligt ekvation 2.4 [4].

$$\text{vct} = \frac{W}{C} \quad (2.4)$$

Vid användningen av substitut till cement, som till exempel slagg eller flygaska brukar

benämningen vattenbindemedelstal, vbt användas. Vbt beskriver förhållandet mellan mängden vatten, W [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$], tillsatsmaterial, D [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$] och cement, C [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$]. Vbt beräknas enligt ekvation 2.5 [4].

$$\text{vbt} = \frac{W}{C + D} \quad (2.5)$$

2.2.4 Porositet och cementpastans struktur

Betong innehåller främst tre olika typer av porer, gelporer, kapillärporer och grövre porer som bildas av luftfickor vid gjutning. Gelporererna är mycket finporösa och bildas i cementpastan vid hydratiseringen. När cementpastan från olika cementkorn sammanfogas vid hydratiseringen bildas sammankopplade hålrum som tillsammans utgör kapillärporerna. Majoriteten av betongens porsystem finns i cementpastan och ballastkornen är i svenska förhållanden nästan helt icke-porösa. Ett lägre vct/vbt ger upphov större mängd gelporer och mindre mängd kapillärporer. En betong blir därför mer finporös ifall ett lägre vct/vbt används. Med ökad härdningsålder för betongen ökar hydratationsgraden. Detta ändrar porsystemet till att bli mer finporöst, eftersom kapillärporer fylls av finporös cementpasta [13].

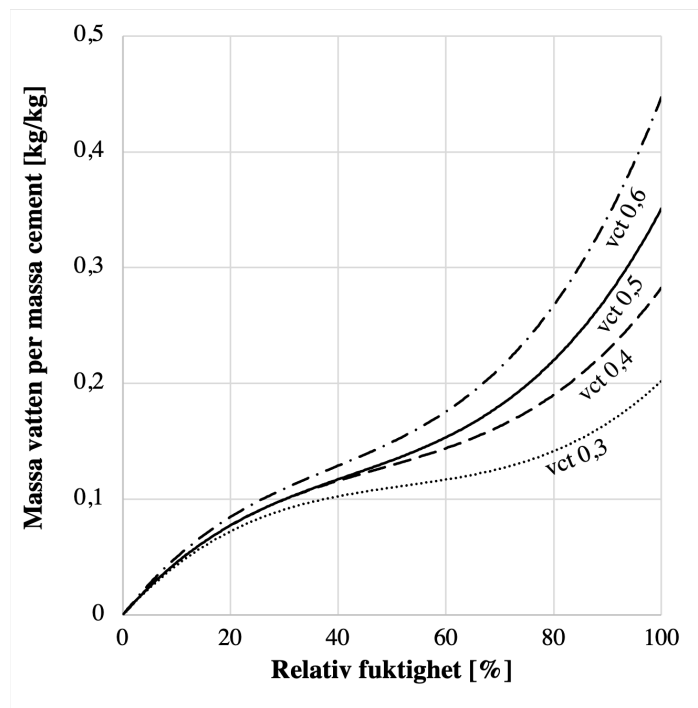
2.3 Fukt i betong

I och med att cement blandas med vatten vid tillverkningen av betong kommer en färsk betong innehålla vatten. Vatten i betong kan bestå av kemiskt bundet vatten och förångningsbart vatten. När vattnet binds kemiskt till cementet vid hydratiseringen sänks betongens RF och detta kallas för att betongen självuttorkar. Vattnet som inte binds kemiskt benämns som byggfukt och är det vatten som måste torka ut till omgivningen för att sänka betongens RF ytterligare [11]. I och med att majoriteten av betongens porsystem finns i cementpastan är det även där det förångningsbara vattnet finns [13].

Genom att sänka betongens vct minskar andelen blandingsvatten vilket resulterar i mindre byggfukt och därav kortare uttorkningstider innan en golvbeläggning kan monteras [11]. Att använda betong med lägre vct har därför varit en strategi för att korta ner uttorkningstiden [14].

Under uttorkningstiden sker majoriteten av fukttransporten genom diffusion. Diffusion av vattenånga kommer ske från porer med högre RF till porer med lägre RF [11].

Desorptionsisotermen sjunker och blir flackare för betong med lägre vct. Detta betyder att en betong med vct 0,5 har högre fuktkapacitet än en betong med vct 0,3. Avgången av fukt från en betong med lågt vct ger större påverkan på dess RF-nivå [6]. Dock sker transporten av fukt långsammare i betong med lägre vct på grund av att den är finporösare och där av tätare [15]. I figur 2.1 ses hur desorptionsisotermen för betong förändras i förhållande till vct.



Figur 2.1: Figuren visar hur desorptionsisotermen sjunker med lägre vct för ett OPC, ordinary Portland cement. Data från Nilsson [16].

3 Metod

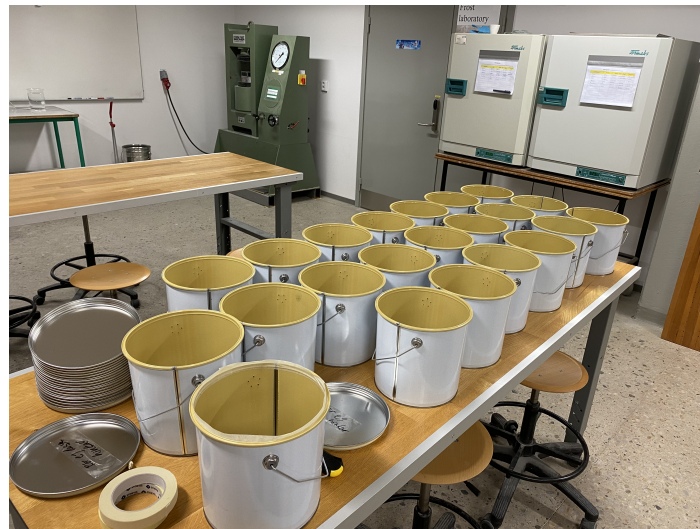
3.1 Provkroppar

I detta avsnitt beskrivs tillverkningen två olika typer av provkroppar, cylindriska provkroppar och plattor.

3.1.1 Förberedning av gjutformar

Cylindriska provkroppar

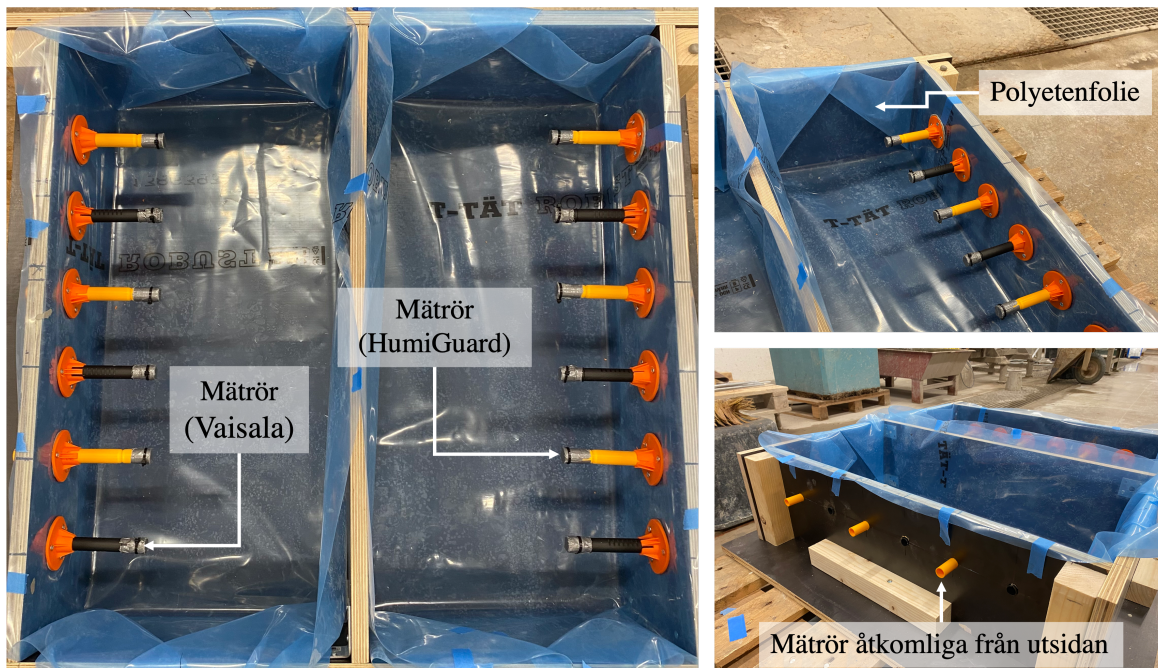
De cylindriska provkropparna göts i 18 st plåtburkar med höjd på 175 mm och en diameter på 200 mm, se figur 3.1. Före gjutning skyddades burkarnas överkant med maskeringstejp för att förhindra betongstänk i lockskåran.



Figur 3.1: Förberedning av burkar inför gjutning.

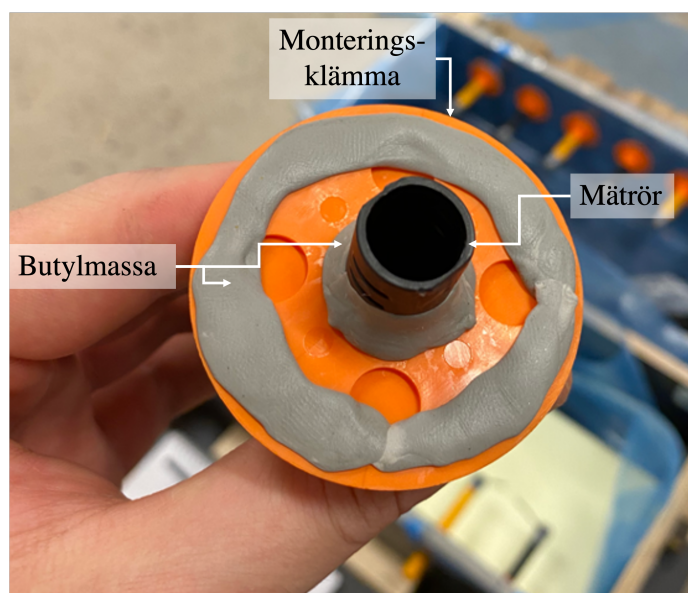
Plattor

En form tillverkades av formplywood med dimensionerna 600x600x195 mm (längd, bredd, höjd). Formen delades upp med en skiljevägg för att senare innehålla två separata betongblandningar. Innan gjutning kläddes formen med polyetenfolie för att förhindra uttorkning av betongen mot formens sidor. Genom form och polyetenfolie monterades tre mätrör för Vaisala-givare och tre mätrör för HumiGuard-givare, se figur 3.2.



Figur 3.2: En rektangulär form tillverkad av formplywood, där mätrör monterats på sidorna. Svarta mätrör för Vaisala-givare och gula mätrör för HumiGuard-givare.

Mätrören monterades på 40 % av djupet ner från formens ovkant. Monteringsklämmorna skruvades in i formplywooden med mellanliggande butylmassa för att tätat läckage vid infästningen, se figur 3.3.



Figur 3.3: Applicering av butylmassa på monteringsklämma.

Samtliga mätrör tejpades med gaffatejp från Tesa runt röröppning för att förhindra att betong läckte in i mätrören i samband med gjutning. Tejpen spändes åt med buntband för säkerställa att tejpen inte lossnade när den fuktades upp av den färska betongen. Tätningssring på mätrör för HumiGuard-givare avlägsnades och ingen tätningssmassa

applicerades på mättrör för Vaisala-givare. Efter mättrören monterats förslöts den ände som inte tejplats med gummikork.

3.1.2 Betongrecept

Provkropparna har tillverkats med två olika recept, ett där bindemedlet enbart bestod av cement och ett där 50 % av cementet ersattes av slagg. Recepten kan ses i tabellerna 3.1 och 3.2. De två recepten hade vct/vbt 0,38. Recepten med och utan slagg kommer härnäst att benämnas som 38B och 38BS (med slagg).

Tabell 3.1: Betongrecept 38B.

Blandning	Mängd [kg/m ³]
Cement	450
Vatten	171
Ballast (0/2 mm)	722,9
Ballast (4/8 mm)	361,4
Ballast (8/11 mm)	361,4
Ballast (12/16 mm)	361,4
Flyttillsatsmedel (Sika Evo 26)	3,1

Tabell 3.2: Betongrecept 38BS.

Blandning	Mängd [kg/m ³]
Cement	225
Slagg	225
Vatten	171
Ballast (0/2 mm)	722,9
Ballast (4/8 mm)	361,4
Ballast (8/11 mm)	361,4
Ballast (12/16 mm)	361,4
Flyttillsatsmedel (Sika Evo 26)	3,1

Cementet som användes i båda recepten var byggcement från Skövde, tillverkat och distribuerat av Cementa AB. Cementet var av klass CEM II/A-LL 42,5 R. Det slagg som användes var av sort Merit, mald granulerad masugnsslagg från Swecem.

3.1.3 Gjutning av provkroppar

Gjutning av provkroppar gjordes vid två tillfällen med två dygns mellanrum. Före varje gjutningstillfälle genomfördes mätningar på ballastens fuktkvot för fraktionerna 0/2 mm och 4/8 mm. Innan prov togs blandades ballasten i behållarna med spade. Prov togs från respektive ballastbehållare och placerades i ett värmeskåp av modell B8054-inkubator från Termaks vid 105 °C eller på en fuktvåg av modell PMB 202 från Anboni, se figur 3.4. Genom att väga ballasten innan och efter den torkats i värmeskåpet kunde fuktkvoten beräknas. Genom att placera ett prov på 20 gram från ballasten på fuktvågen beräknades fuktkvoten och kunde läsas av efter 15 minuter.



Figur 3.4: Värmeskåp från Termaks, modell B8054 (vänster) och fuktvåg från Anboni, modell PMB 202 (höger).

I tabell 3.3 och 3.4 ses fuktkvoten i ballasten vid de två gjutningstillfällena. Blandningsvattnet reducerades efter ballastens fuktkvot för att behålla eftersträvat vct/vbt på 0,38.

Tabell 3.3: Beräknad fuktkvot i ballast med fraktionerna 0/2 mm och 4/8 mm vid första gjutningen.

Prov/beteckning	Massa före torkning [gram]	Massa efter torkning [gram]	Massa vatten [gram]	Fuktkvot [%]
Ballast 0/2 mm	461,45	433,00	28,45	6,57
Ballast 4/8 mm	542,75	451,50	1,25	0,23

Tabell 3.4: Uppmätt fuktkvot med fuktvåg i ballast med fraktionerna 0/2 mm och 4/8 mm vid andra gjutningen.

Prov/beteckning	Fuktkvot [%]
Ballast 0/2 mm	3,55
Ballast 4/8 mm	1,10

När burkar och form fylldes med betong vibrerades de i tre etapper, en tredjedel av höjden, två tredjedelar av höjden och fylld burk/form. Burkarna vibrerades på vibratorbord och formen vibrerades med vibratorstav. När burkarna var fyllda och vibrerats avlägsnades marskeringstejpen runt lockskåran för att sedan montera plåtlock på samtliga burkar.

3.1.4 Förvaring av provkroppar under härdning

Cylindriska provkroppar

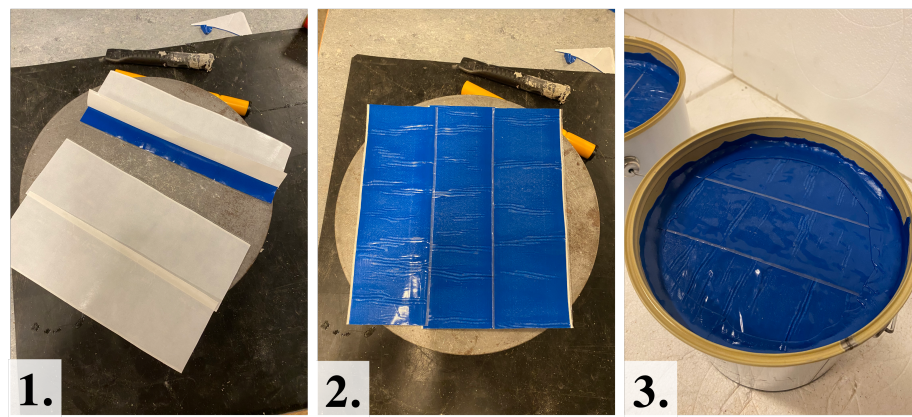
Burkarna värmeisolerades runt mantelarean med polystyrenskivor och betongtäckmat- ta för att minska temperaturgradienten genom provkropparna när betongen härdade,

se figur 3.5. Burkarna förvarades sedan i ett klimatrum med 60 % RF och 20 °C i sex veckor.



Figur 3.5: Värmeisolerade burkar. Burkarna placerade ovanpå är endast för att fungera som vikt och inte aktuella provkroppar i denna studie.

Burkarna var förseglade med lock från gjutningsdagen, men eftersom borrhålmätning skulle utföras på provkropparna behövde locken avlägsnas. Tre veckor efter gjutning avlägsnades lock och värmeisolering. För att fortsatt förhindra diffusionsuttorkning klistrades butyltejp av fabrikat Platon från Isola AB på betongens ovanyta. Hur butyltejpen förberedes och klistrades fast på betongens ovanyta ses i figur 3.6. Butyltejpen klipptes ut i mindre remsor för att sedan sammanfogas. De sammanfogade tejprensorna klipptes till cirkulära mått och klistrades fast mot betongens ovanyta. Butylmassa användes för att täcka skarven mellan butyltejpen och plåtburkens sidor.



Figur 3.6: Sammanfogning av butyltejp (1). Sammanfogade tejprensor (2) klipptes till cirkulära mått. Butylmassa användes för att täcka skarven mellan butyltejp och plåtburkens sidor (3).

Burkarna vägdes vid fyra tillfällen, vid gjutning, före lock avlägsnades, när butyltejp applicerats och före mätning av RF. Detta gjordes för att säkerställa att uttorkningen till omgivningen varit förhindrad under tiden de förvarades. Vid samtliga vägningar noterades ingen viktminskning hos de cylindriska proven bortsett från när lock ersattes av butyltejp. Anledningen till detta var för att plåtlocken vägde mer än butyltejpen.

Plattor

Plattorna förvarades stående på en lastpall i 20 °C med 60 % RF i sex veckor med möjlighet till enkelsidig uttorkning från ovanytan. Tre dygn efter gjutning täcktes ojämnheter mellan polyetenfolie och betong med fogmassa för att minska uttorkning från plattornas sidor.

3.1.5 Sammanställning av provkroppar

Sammanställning av antalet provkroppar kan ses i tabell 3.5. Cylindriska provkroppar betecknades t.ex. CA1 , där C står för cylinderprov och A betecknar vilken betongblandning provet tillverkades av. Plattorna betecknades P38B och P38BS, där P står för platta och 38B/38BS betecknar betongreceptet.

Tabell 3.5: Sammanställning av provkroppar.

Beteckning	Recept	Antal	Uttorkning
CA	38B	5	förseglad
CB	38B	5	förseglad
CC	38BS	4	förseglad
CD	38BS	4	förseglad
P38B	38B	1	enkelsidig
P38BS	38BS	1	enkelsidig

3.2 Fuktmätningar

3.2.1 Provningsplan

Mätning av RF har utförts med tre olika metoder:

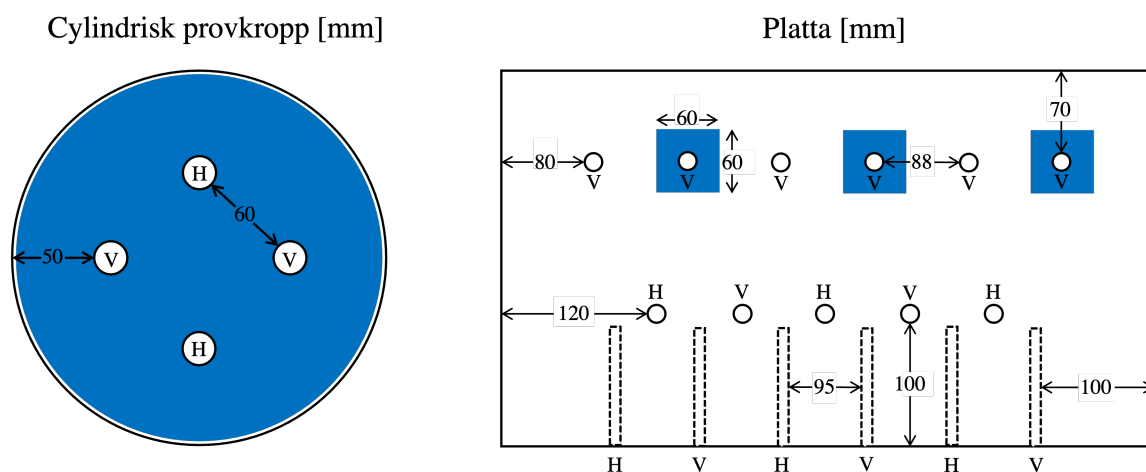
- Mätning av RF i borrhål enligt RBK.
- Mätning av RF i ingjutna mätrör.
- Mätning av RF på uttagna prov i fuktgenerator.

Mätningar av RF i borrhål och i ingjutna mätrör utfördes med två fabrikat av givare, Vaisala och HumiGuard. I tabell 3.6 redogörs det i vilka provkroppar de olika mätmetoderna utfördes. I bilaga A redovisas en mer detaljerad provningsplan för separata provkroppar.

Tabell 3.6: Provningsplan över vilka mätmetoder som utfördes i de olika provkropparna. X markerar vilken mätmetod som utfördes.

Provkropp	Mätning av RF i borrhål	Mätning av RF i ingjutna mätrör	Uttagna prov i fuktgenerator
Cylindrar	X	–	X
Plattor	X	X	–

I figur 3.7 ses en ritning över var de olika mätningarna utfördes i dem cylindriska provkropparna och i plattorna. Cirklar representerar var borrhålmätningar enligt RBK utfördes. Streckade rektanglar representerar var mätning av RF utfördes i ingjutna mätrör. Blå områden visar vilka borrhålmätningar som utfördes genom en förseglande butyltejp. Markeringarna (V) och (H) visar var Vaisala- respektive HumiGuard-givare monterades.

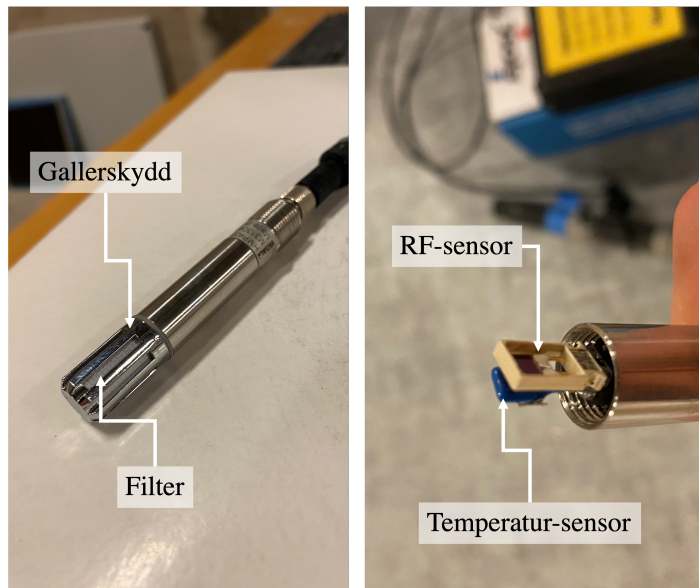


Figur 3.7: Ritning över var mätningar av RF utfördes på cylindriska provkroppar och plattor.

3.2.2 Fabrikat av givare

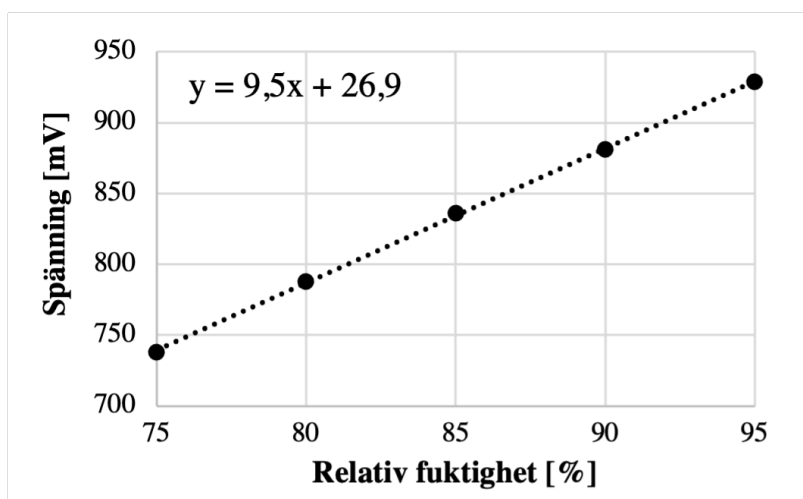
Vaisala

I figur 3.8 ses utformningen av en Vaisala-givare. Fotot visar hur givaren ser ut med och utan gallerskydd och filter. Innanför gallerskydd och filter sitter temperatur-sensor och RF-sensor monterade.



Figur 3.8: Foto på en Vaisala-givare med och utan gallerskydd och filter.

Vaisala-givare kalibrerades en vecka innan de monterades i provkropparna. Kalibreringen utfördes genom att givarna placerades i en fuktgenerator av fabrikat Thunder Scientific Corporation och utsattes för olika RF inom intervallet 75-95 %. Genom att läsa av givarna vid olika RF inom intervallet kunde en kalibreringskurva fås fram likt figur 3.9. Kalibreringskurvan användes för att räkna om uppmätt spänning [mV] till kalibrerad RF [%].



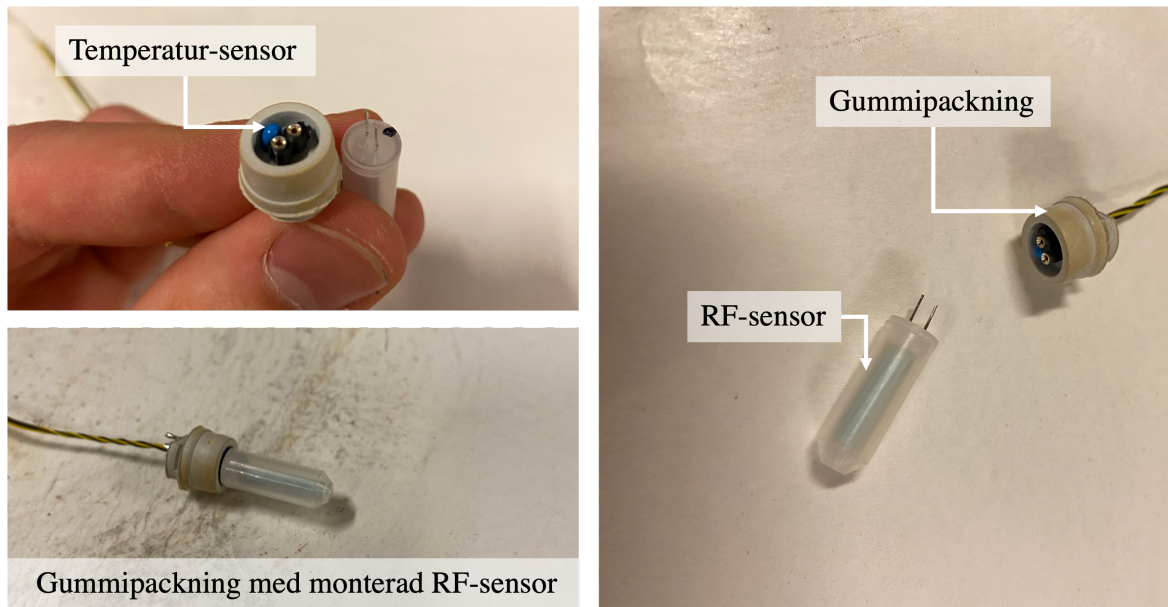
Figur 3.9: Kalibreringskurva för en Vaisala-givare.

Utifrån punkterna gjordes en linjär regressionsanalys vilket gav räta linjens ekvation ($y=kx+m$). Med räta linjens ekvation kunde kalibrerad RF beräknas enligt ekvation 3.1.

$$\frac{\text{Spänning} - k}{m} = \text{Kalibrerad RF} \quad (3.1)$$

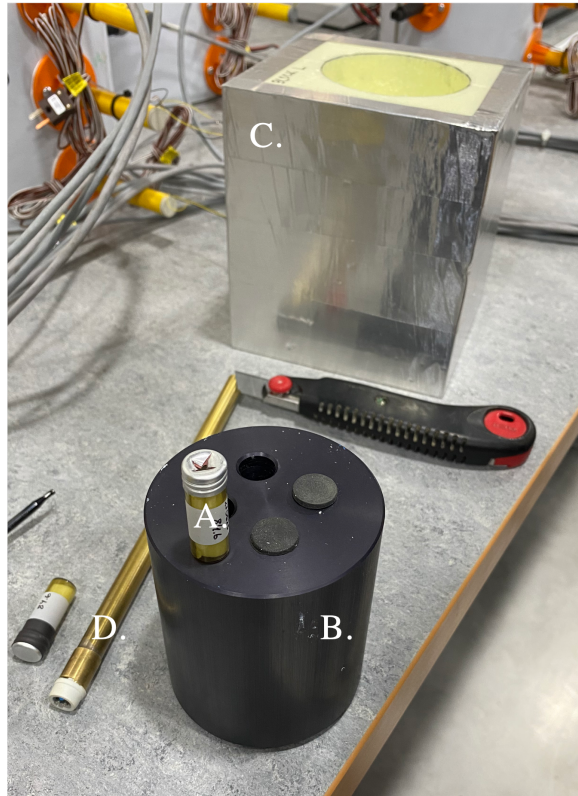
HumiGuard

I figur 3.10 visas utformningen av en HumiGuard-givare. Givaren består av en RF-sensor, temperatur-sensor, gummipackning och tilledare. RF-sensorerna levererades i en plastburk innehållande en mättad saltlösning med 85,1 % RF. Om RF-sensorerna understiger 75 % RF förstörs de och får ej användas.



Figur 3.10: Foton på HumiGuard-givare.

För att kalibrera HumiGuard-givarna användes två referensgivare. Referensgivarna monterades i en aluminiumcylinder över två kapslar innehållandes mättad saltlösning med 85,1 % RF vid 20 °C. Aluminiumcylindern förvarades i en låda av polystyren med aluminiumtejp för att hålla konstant temperatur under referensmätningen, se figur 3.11.



Figur 3.11: Kapsel innehållande mättad saltlösning med 85,1 % RF (A), aluminiumcylinder (B), isolerande låda (C) och monteringsdon (D).

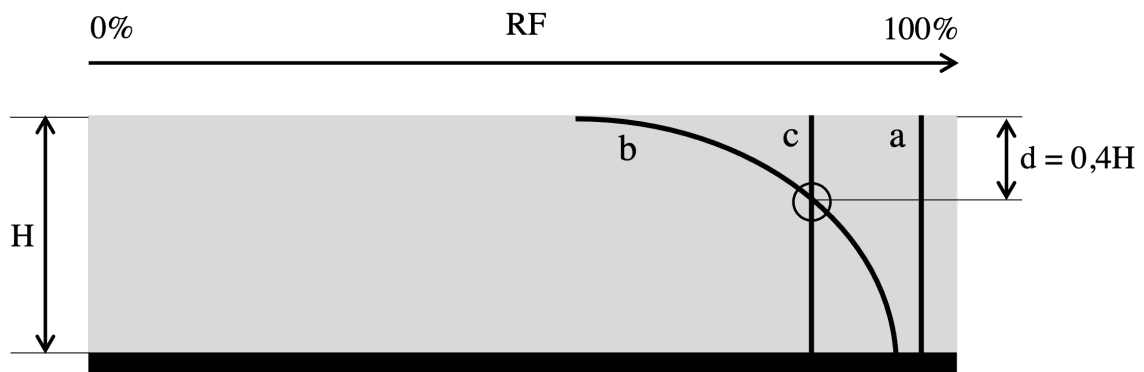
Monterade HumiGuard-givare i provkroppar och referensgivare lästes av samtidigt. Mätvärdena från de monterade givarna och referensgivarna skrevs in i HumiGuards mjukvara från Nordisk Industriefysik. I mjukvaran kalibrerades uppmätt konduktivitet [μS] och beräknades om till temperatur [$^{\circ}\text{C}$] och RF [%]. I figur 3.12 visas ett urklipp på utdata från mjukvaran. Utdatan som presenterades var RF, temperatur, korrigerad RF till 20 $^{\circ}\text{C}$, osäkerhet för givare och RF med pålägg från osäkerheten. Värdet som användes var RF utan temperaturkorrigering och utan pålägg från mätosäkerheten.

Meas. point CA1-1								W/C ratio: 0.38
EXEMPEL								
Time	Lot number	RH	Temp	RH ₂₀	Unc	Final	ID	Notes
2023-04-03 11:00	230320-B-4-8	89.9	19.8	89.9	1.5	91.4		Dag 7
2023-04-04 11:00	230320-B-4-8	89.9	19.8	89.9	1.5	91.4		Dag 8
2023-04-05 14:00	230320-B-4-8	89.9	19.9	89.9	1.5	91.4		Dag 9

Figur 3.12: Urklipp på utdata från HumiGuards mjukvara.

3.2.3 Mätning av RF i borrhål

Enligt RBK [1] skall borrhålsmätning utföras på ekvivalent mätdjup. När betongen utsätts för enkelsidig uttorkning kommer RF att vara som lägst på ytan och öka längre in i betongen. När en tät golvbeläggning monterats på en betongplatta kommer fukten att omfördelas under lång tid och torrare betong kommer fuktas upp enligt figur 3.13. En fuktmätning på betongplattans ovanyta kommer därav inte ge ett mätvärde som motsvarar fukttillståndet under en tät golvbeläggning lång tid efter den monterats. För att få ett motsvarande fukttillstånd behöver mätningen ske på ekvivalent mätdjup, d , 40 % av tjockleken, H ner från ovanytan [1].



Figur 3.13: Fuktprofil genom tvärsnittet för ett betonggolv med enkelsidig uttorkning. (a) direkt efter gjutning, (b) efter enkelsidig uttorkning och (c) lång tid efter en tät golvbeläggning monterats [1].

Borrhålsmätningarna utfördes efter instruktioner från RBKs fuktmätningssmanual [1] med följande avsteg:

- Borrhål placerades närmre varandra än tre gånger borrhålsdjupet.
- Mätrör för HumiGuard-givare fylldes inte med mineralull efter givare monterats då mätningen utfördes i ett rum med kontrollerad temperatur till 20 °C.
- Borrhålsmätning i cylindriska provkroppar och sex borrhålsmätningar i plattorna gjordes genom en förseglade butyltejp på betongens ovanyta.

Mätningar av RF i borrhål med Vaisala- och HumiGuard-givare utfördes enligt följande steg:

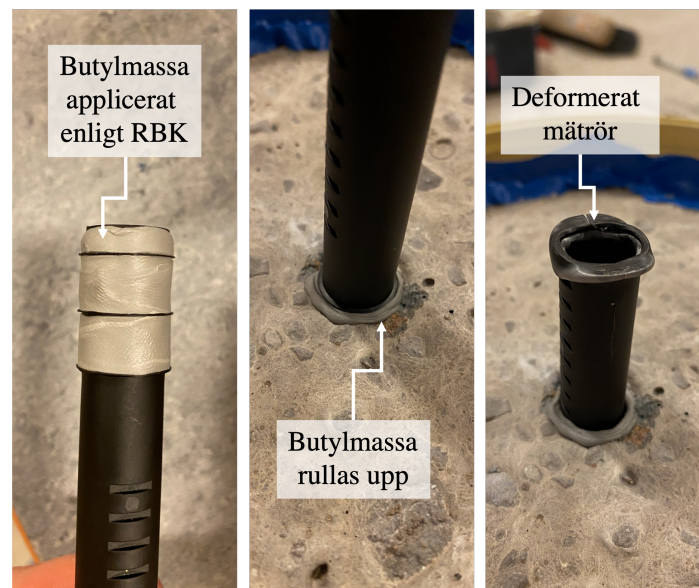
1. Om betongens ovanyta var förseglad med butyltejp skars ett 20x20 mm stort kvadratisk hål i butyltejpen.
2. Ett mäthål borrades med ett 16 mm borrstål och slagborrmaskin ner till ekvivalent mätdjup (40 % av betongens tjocklek från ovanytan). Hålet borrades med noggrannhet 0–2 mm för djupt.
3. Yttemperaturen i borrhålets botten mättes med en IR-laser termometer direkt efter borrning och antecknades.

4. Borrhålsdjupet kontrollerades med skjutmått. Ifall hålet borrats för djupt kasserades hålet och tätades med butylmassa för att sedan börja om från steg 1.
5. Borrhålet rengjordes noga med stålborste och dammsugare för att avlägsna allt borrkax. Detta utfördes i flera omgångar tills borrhålet slutade att damma.
6. Yttemperaturen i borrhålets botten mättes återigen med en IR-laser termometer och antecknades.
7. Det kontrollerades okulärt att inga stora ballastkorn fanns i botten av borrhålet. Minst tre fjärdedelar av ytan skulle bestå av cementpasta för att hålet skulle vara godkänt. Om stora ballastkorn uppmärksammades kasserades borrhålet, för att sedan börja om från steg 1.
8. Montering av mätrör:
 - Vaisala: För mätrör tillhörande Vaisala-givare applicerades tätningsmassa av butyl runt mätrörets flänsar. Mätröret slogs ner försiktigt med gummihammare och det kontrollerades att butylmassan inte trängt in i mätröret under monteringen.
 - HumiGuard: I och med att mätröret kom levererat med tätningsring behövde ingen extra tätningsmassa appliceras. Mätröret slogs ned försiktigt i borrhålet med gummihammare.
9. Borrhålet dammsögs ytterligare.
10. Mätrörets täthet kontrollerades med gummiblåsa enligt RBK. Gummiblåsan trycktes ihop och slöts tätt mot mätrörets öppning. Mätrörets täthet godkändes ifall ingen fullständig återgång av gummiblåsan kunde ses under 15 sekunder.
11. Ytterligare en tätning av butylmassa applicerades runt mätröret och mot betongens ovanyta. Butylmassan arbetades in med fingrar och skruvmejsel.
12. Montering av givare:
 - Vaisala: Efter mätrör monterats förslöts mätröret med gummikork. Tre dygn där efter monterades Vaisala-givare. Vid montering av givare togs plasthylsa med torkmaterial bort från givare för att sedan monteras med o-ring i mätröret. Mätrörets övre öppning tätades med butylmassa runt mätrör och givarsladd.
 - HumiGuard: HumiGuard-givare monterades samma dag som mätrör monterades. En RF-sensor togs ut en och en från burken de levererades i. Givaren sattes ihop genom att RF-sensorn monterades på gummipackningen. Givaren monterades i mätröret med ett monteringsdon. Vid korrekt montering stannade givaren kvar i mätröret när monteringsdonet drogs upp. Genom att dra lätt i tilledarna kunde det säkerställas att givaren satt fast i mätröret. Mätrörets öppning tätades med gummikork.
13. Avläsning av givare:

- Vaisala: Givarna loggades under tre dygn från att de monterades. Med givarnas kalibreringskruvor beräknades loggade mätvärden om från mV till kalibrerad RF. Den RF som givare visade tre dygn från att givare monterats valdes som "avläst RF".
- HumiGuard: Manuell avläsning utfördes sju, åtta och nio dygn från att givare monterats. Avlästa mätvärden i μS från monterade givare och referensgivare beräknades om till kalibrerad RF med mjukvara från Nordisk Industrifysik AB. Den RF som givare visade sju dygn från att givare monterats valdes som "avläst RF".

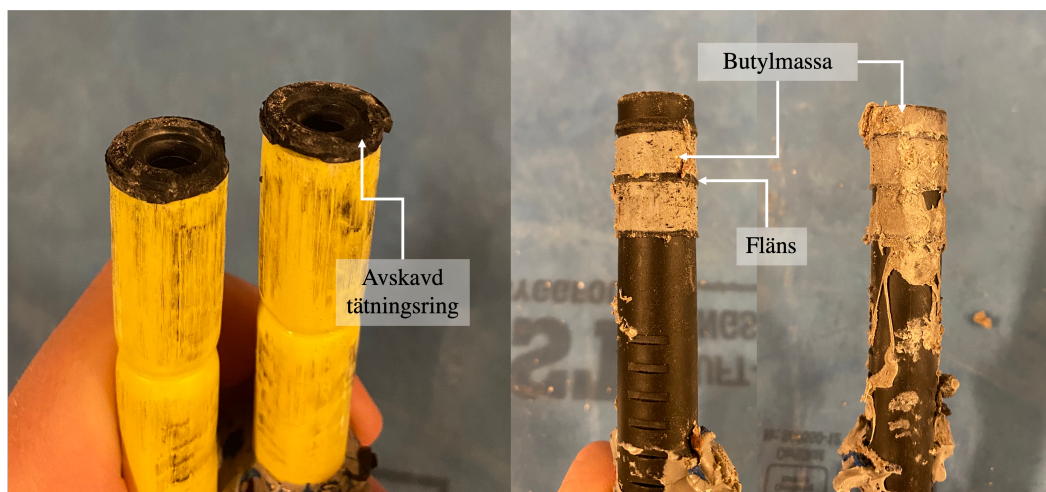
14. Efter utförd mätning demonterades givarna och mätrören förslöts med gummi-kork.

Vid monteringen av mätrör för Vaisala-givare var det svårt att få mätrören täta runt dess nedre ände i borrhålet. Enligt RBK [1] skall butylmassa appliceras runt mätrörets flänsar likt figur 3.14. Vid monaget av mätrör tätade enligt RBK noterades det att butylmassan rullades upp längs mätröret. När mätröret slogs ner i borrhålet behövdes det utföras med sådan kraft att mätröret deformerades. När mätrörets täthet testades med gummiblåsa uppfyllde det inte RBKs täthetkontroll. Även fast olika mängd butylmassa användes var det lika svårt att uppfylla tätt mätrör.



Figur 3.14: Montering av ett mätrör för Vaisala-givare. Mätröret är tätat enligt RBKs fuktmättningsmanual [1].

När de cylindriska provkropparna spräcktes kunde mätrören avlägsnas utan att behöva dra upp dem ur borrhålen. Mätrör som hade varit monterade i borrhål såg ut enligt figur 3.15. Tätningringen på mätrör för HumiGuard-givare var avskavd. Även om tätningringen var skadad var mätrören ändå tillräckligt täta. För mätrör tillhörande Vaisala-givare kan det ses att butylmassan dragits loss från mätrören och att flänsarna slipats ner.



Figur 3.15: Mättrör tillhörande HumiGuard-givare och Vaisala-givare som varit monterade i borrhål.

3.2.4 Mätning av RF i ingjutet mättrör

Fuktmätning i ingjutna mättrör ingår inte i RBKs fuktmättningsmanual och därför finns det inte en förbestämd metodik för hur mätningen skall utföras. Innan plattorna gjöts i dem rektangulära formarna monterades mättrör på formens sidor och hur mättrören monterades beskrevs tidigare i avsnitt 3.1.1.

Mätning av RF i ingjutna mättrör med Vaisala- och HumiGuard-givare utfördes i följande steg:

1. Korken som satt i mättrören sedan gjutning avlägsnades.
2. Mättrör torkades med papper för att avlägsna kondenserat vatten.
3. På grund av att mättrören täcktes med gaffatejp innan gjutning avlägsnades tejpennan innan givare monterades. Gaffatejpen avlägsnades genom att mätpunkten borrades med ett 6 mm borrstål och slagborrmaskin. Borrningen var endast ytlig och gjordes 5 mm in i betongen.
4. Mättrören rengjordes noga med dammsugare för att avlägsna borrhax och rester från gaffatejpen.
5. Montering av givare:

Vaisala: Efter mättrören rengjorts förslöts de med gummikork. Tre dygn där efter monterades Vaisala-givare. Vid montering av givare togs plasthylsa med torkmaterial bort från givare för att sedan montera givaren med o-ring i mättrören. Mättrörets öppning tätades med butylmassa runt mättrör och givarsladd.

HumiGuard: Samma dag som gaffatejpen avlägsnades monterades HumiGuard-givare. En RF-sensor togs ut en och en från burken de kom levererade i. RF-sensorn monterades på en gummipackning med temperatur-sensor. Givaren monterades i mättröret med ett monteringsdon. Genom att dra lätt

i tilledarna kunde det säkerställas att givaren satt fast i mätröret. Mätrörets öppning förslöts med gummikork.

6. Avläsning av givare:

Vaisala: Givarna loggades under tre dygn från att de monterades. Med givarnas kalibreringskruvor beräknades loggade mätvärden om från mV till kalibrerad RF. Den RF som givaren visade tre dygn från att givare monterades valdes som "avläst RF".

HumiGuard: Manuell avläsning utfördes sju, åtta och nio dygn från att givare monterades. Avlästa mätvärden i μS från monterade givare och referensgivare beräknades om till kalibrerad RF med tillhörande mjukvara från Nordisk Industrifysik. Den RF som givaren visade sju dygn från att givaren monterades valdes som "avläst RF".

7. Efter utförd mätning demonterades givarna och mätrören förslöts med gummikork.

3.2.5 Uttaget prov i fuktgenerator

Ett av syftena med detta examensarbete var att utveckla en kompletterande laboratoriemässig mätmetod med vilken det var möjligt att bestämma en betongs RF utan att använda givare. Målsättningen var att denna metod skulle vara så enkel som möjligt med ett minimum av felkällor. Den metod som framtoogs kom att kallas för "uttaget prov i fuktgenerator".

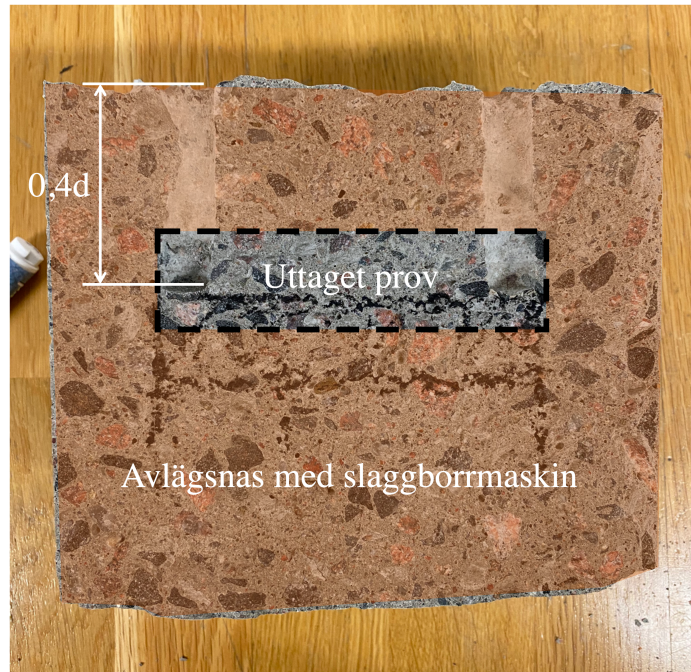
Utförandet gick ut på att uttagna prov från en provkropp placerades på en våg inne i en fuktgenerator av fabrikat Thunder Scientific Corporation. Genom att generera en specifik RF i fuktgeneratorn kunde ett uttaget provs RF bestämmas baserat på om provet minskade eller ökade i massa. Ifall det uttagna provets massa minskade betyder det att fuktgeneratorns genererade RF var lägre än det uttagna provets RF. Ifall det uttagna provets massa istället ökade var fuktgeneratorns RF högre än det uttagna provets. När ett uttaget prov hade undersökts i fuktgeneratorn vid en specifik RF kasserades provet och ett nytt uttaget prov placerades i fuktgeneratorn. Genom att testa flera uttagna prov från samma betong för olika RF i fuktgeneratorn kunde betongens RF estimeras.

Uttagna prov togs från de cylindriska provkropparna. För att undvika att utsätta provkropparna för ett värmestillskott vid uttagning av prov valdes det att spräcka provkropparna i en kubpress. Spräckning av en cylindrisk provkropp kan ses i figur 3.16.



Figur 3.16: Spräckning av cylindrisk provkropp i kubpress. I fotot visas sprickan som delade provkroppen i två halvcylindrar.

Genom spräckning delades de cylindriska provkropparna i två halvcylindrar. I och med att spräckningen inte utfördes i ett klimatstyrkt rum överfördes halvcylindrarna snabbt ner i plastpåsar. Plastpåsarerna stängdes med påsklämna för att sedan transportera halvcylindrarna till ett klimatrums med 60 % RF och 20 °C. Inne i klimatrumsmet sönderdelades halvcylindrarna en och en med bilningshammare. I figur 3.17 visas vilken del av halvcylindern som avlägsnades och vilket del som valdes som uttaget prov. Det uttagna provet togs på 40 % av djupet ner från provkroppens ovanyta.

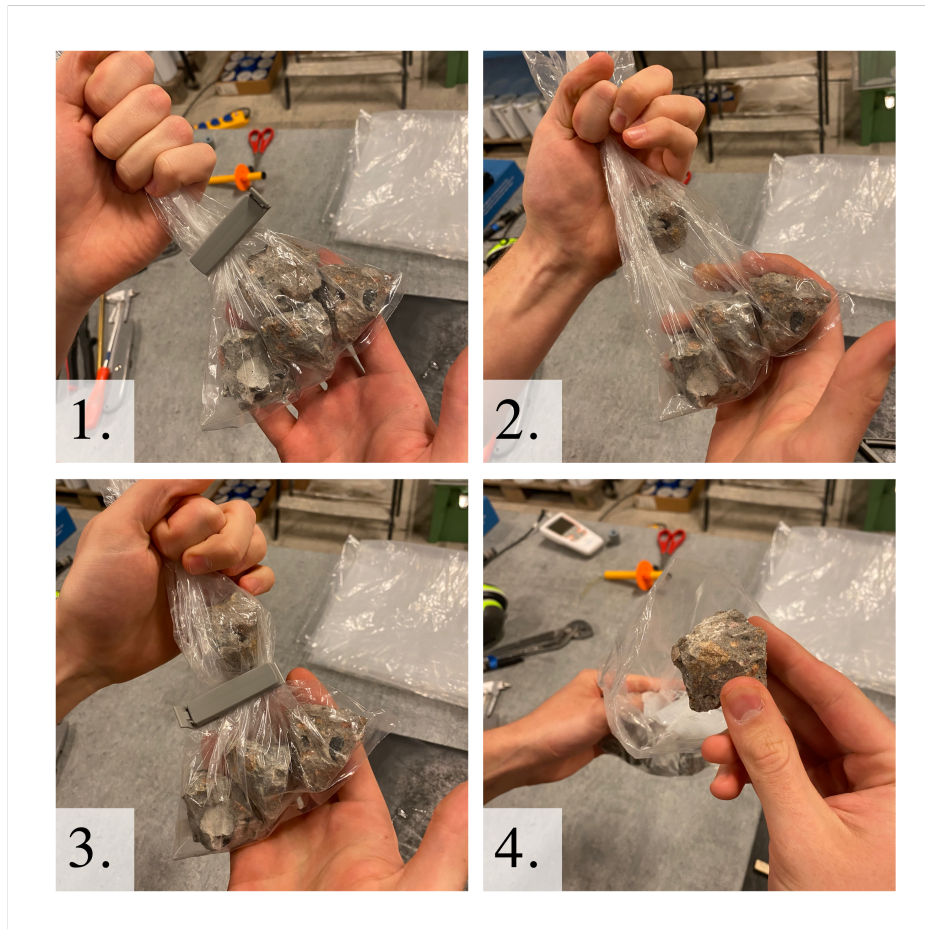


Figur 3.17: Området av halvcyllindern markerat med rött bilades bort och prov i mitten användes som "uttaget prov".

Det uttagna provet sönderdelades och fördes ner i dubbla plastpåsar som förslöts med påsklämma. Dubbla plastpåsar användes som extra skydd ifall provbitarnas vassa kanter gjorde hål i den första plastpåsen. Tiden det tog från att en halvcyllinder sönderdelades till att uttagna prov fördes ner i plastpåsar uppskattades till 90 sekunder. I samband med att det uttagna proven sönderdelades placerades ett av proven på en våg inne i klimatrumsrummet. Provets massa antecknades vid start och efter fem minuter. För betong med recept 38B minskade provets massa med 0,03 % och för betong med recept 38BS minskade provet massa med 0,01 %.

När uttagna prov från båda halvcyllindrarna förts ner i plastpåsar placerades de två plastpåsar i en tredje plastpåse och förvarades i ett klimatrumsrum med 60 % RF och 20 °C. De uttagna proven förvarades i klimatrumsrummet i minst ett dygn för att sedan placeras i fuktgeneratoren.

När ett prov togs ut ur den gemensamma påsen var det viktigt att resterande prov inte torkade. Hur ett uttaget prov togs ut ur den gemensamma plastpåsen och flyttades till en separat plastpåse kan ses i figur 3.18.



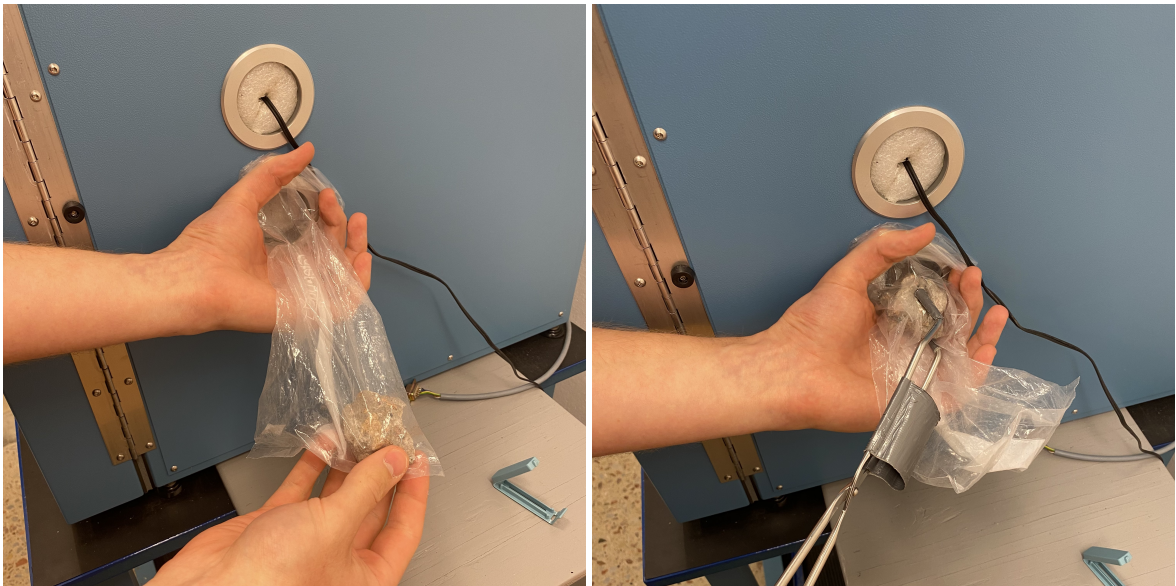
Figur 3.18: Foton på hur provbitar togs ut ur den gemensamma påsen. Genom att öppna påsklämman (1) kunde ett prov skakas fram samtidigt som påsen hölls stängd. När ett prov separerats från de andra (2) återförslöts påsen med påsklämman (3). Provet kunde sedan placeras i en separat påse för transport till fuktgeneratoren (4).

Fuktgeneratoren som användes i försöken var placerad i ett icke klimatstyrt rum. De uttagna proven värmeisolerades för att hålla konstant temperatur när de transporterades till fuktgeneratoren. Isoleringsblocket som användes kan ses i figur 3.19.



Figur 3.19: Isoleringsblock för transport av uttagna prov till fuktgeneratoren.

När ett uttaget prov placerades i fuktgeneratoren gjordes det genom ett hål på 50 mm i diameter på sidan av fuktgeneratoren. För att minimera risken att ett prov torkade trycktes påsens öppning mot hålet. Påsklämman avlägsnades och med tång kunde provet föras in i fuktgeneratoren och placeras på vågen liksom i figur 3.20. När provet placerats på vågen förslöts hålet med cellplastkork som satt kvar under hela försöket.



Figur 3.20: Foton på hur ett uttaget prov fördes in i fuktgeneratoren.

Tiden de olika proven exponerades i fuktgeneratoren varierade beroende på skillnaden mellan det uttagna provets RF och fuktgeneratorns genererade RF. Ifall skillnaden i RF var större sågs ändringar av provets massa relativt snabbt, inom en till två timmar. När skillnaden i RF var mindre kunde ett prov behöva exponeras i fuktgeneratoren i över 10 timmar för att se om massan minskade eller ökade. Uttagna prov från betong

innehållande slagg krävde generellt längre exponeringstid för att se skillnader i massan på de uttagna proven.

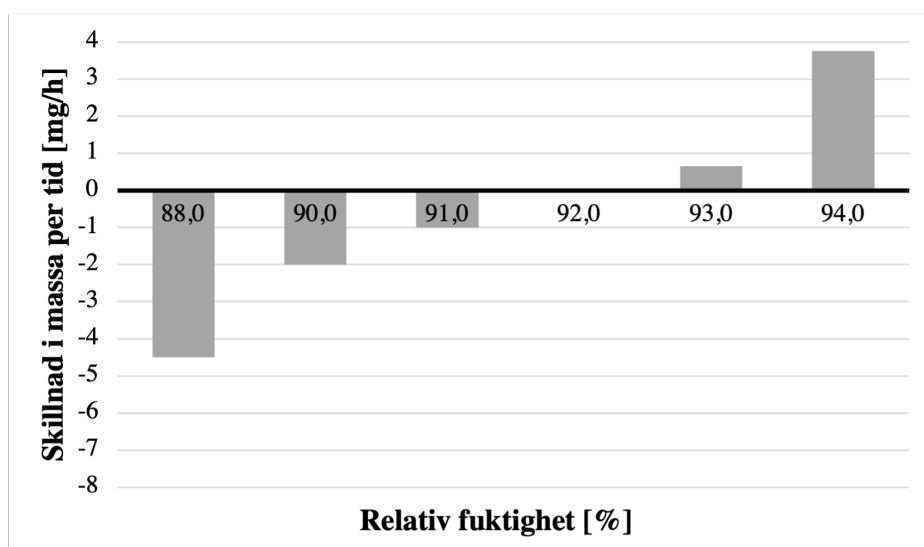
Skillnaden i massa dividerades med tiden som de uttagna proven exponerades i fuktgeneratoren. Ett exempel visas nedan i tabell 3.7 och ekvation 3.2.

Tabell 3.7: Exempel på mätdata från ett uttaget prov i fuktgeneratoren.

Massa (start) [gram]	Massa (slut) [gram]	Skillnad i massa [gram]	Tid i fuktgeneratoren [timmar]
50,450	50,455	0,005	4

$$\frac{\text{Skillnad i massa}}{\text{Tid i fuktgeneratoren}} = \frac{0,005}{4} = 1,25 \text{ mg/h} \quad (3.2)$$

Genom att dividera skillnaden i massa med exponeringstiden kunde en indikation ges på hur stor skillnaden i RF var mellan uttaget prov och klimatet i fuktgeneratoren. De uttagna proven vägde mellan 30 gram till 60 gram med ett medelvärde på 50 gram. Efter att en mätserie utförts på uttagna prov från samma betong kunde mätdatan presenteras liksom i figur 3.21.



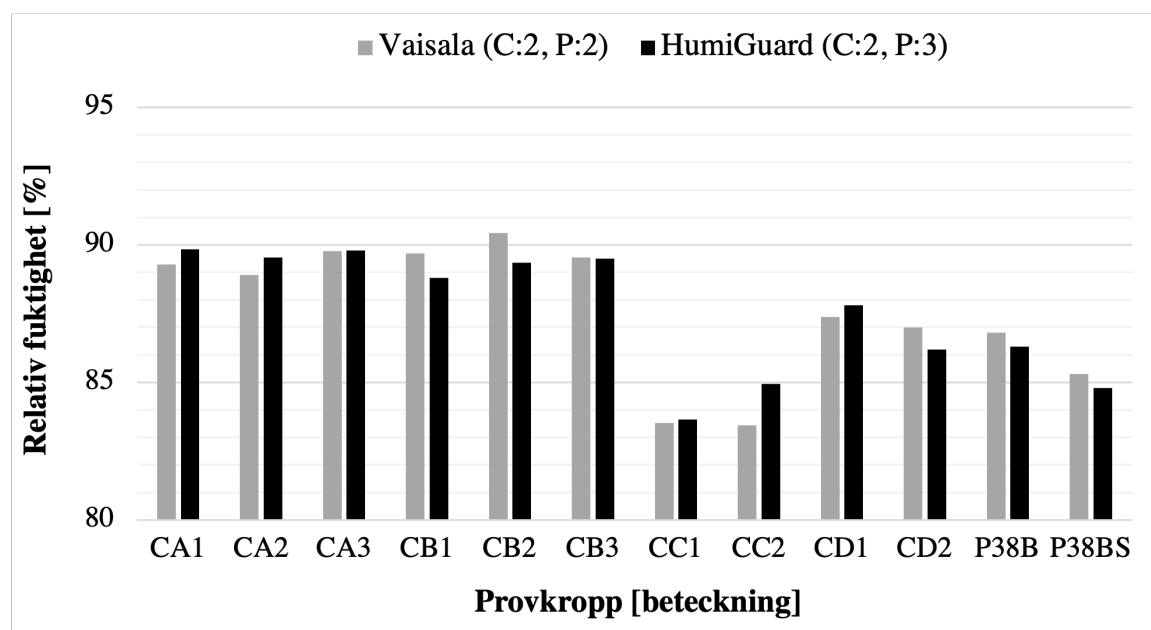
Figur 3.21: Skillnad i massa per tid för uttagna prov som exponerats för olika RF.

4 Resultat och analys

I detta avsnitt presenteras resultaten från de utförda undersökningarna. Efter resultatet för respektive undersökning följer analys och diskussion.

4.1 Borrhålmätning: Jämförande mellan olika fabrikat av givare

I figur 4.1 visas uppmätt RF i borrhål med Vaisala- och HumiGuard-givare. Mätningarna är utförda i cylindriska provkroppar och plattor. Cylindriska provkroppar är betecknade med C och plattor är betecknade med P. Provkroppar CA, CB och P38B är betong tillverkad på recept 38B. CC, CD och P38BS är betong tillverkad på recept 38BS.



Figur 4.1: Uppmätt RF i borrhål med Vaisala- och HumiGuard-givare i cylindriska provkroppar och plattor. Presenterad RF är ett medelvärde av monterade givare i en provkropp. Antalet monterade givare ses inom parentes för respektive givarfabrikat.

Uppmätt RF från enskilda Vaisala- och HumiGuard-givare kan ses i bilaga C respektive bilaga B.

4.1.1 Analys och diskussion

I figur 4.1 kan det inte ses någon systematisk skillnad mellan Vaisala- och HumiGuard-givare. Skillnaden i uppmätt RF mellan givarna är slumpmässig. Ibland mäter Hu-

miGuard-givare högre RF och ibland mäter Vaisala-givare högre RF. Variationen i uppmätt RF mellan Vaisala- och HumiGuard-givare är i samma storleksordning som variationen mellan givare av samma fabrikat.

Tätning av mätrör

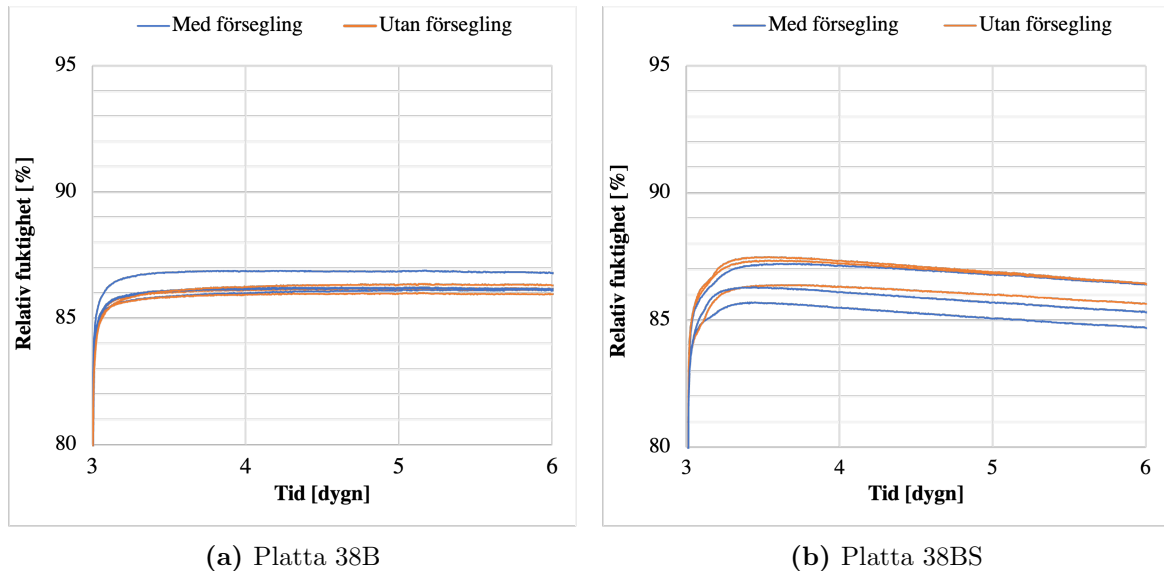
Vid utförandet av borrhålsmätning var det svårare att få mätrör tillhörande Vaisala-givare täta än mätrör för HumiGuard-givare. Ett läckande borrhål resulterar vanligtvis i en underskattning av RF i borrhålet. Trots att tätningen av mätrör för Vaisala-givare inte var tillräckligt tät visade Vaisala-givarna ibland högre RF än HumiGuard-givare.

Olika RF för provkroppar med samma betongrecept

I figur 4.1 är RF-nivåerna lägre för provkroppar CC än för provkroppar CD. Provkropparna är tillverkade på samma betongrecept, 38BS. En möjlig förklaring till skillnaderna kan vara att det har förekommit felaktig dosering av cement och vatten vid tillverkningen av betongen. Detta kan i sin tur ha resulterat i variationer i vct mellan de två betongblandningarna. En betong med högre vct kommer att innehålla mer byggfukt och därav ha högre RF.

4.2 Borrhålmätning: Försegling runt borrhål

I figur 4.2 visas loggade RF-nivåer för Vaisala-givare monterade i borrhål med och utan försegling på betongens ovanyta. Mätningarna är utförda i de två plattorna, P38B och P38BS.



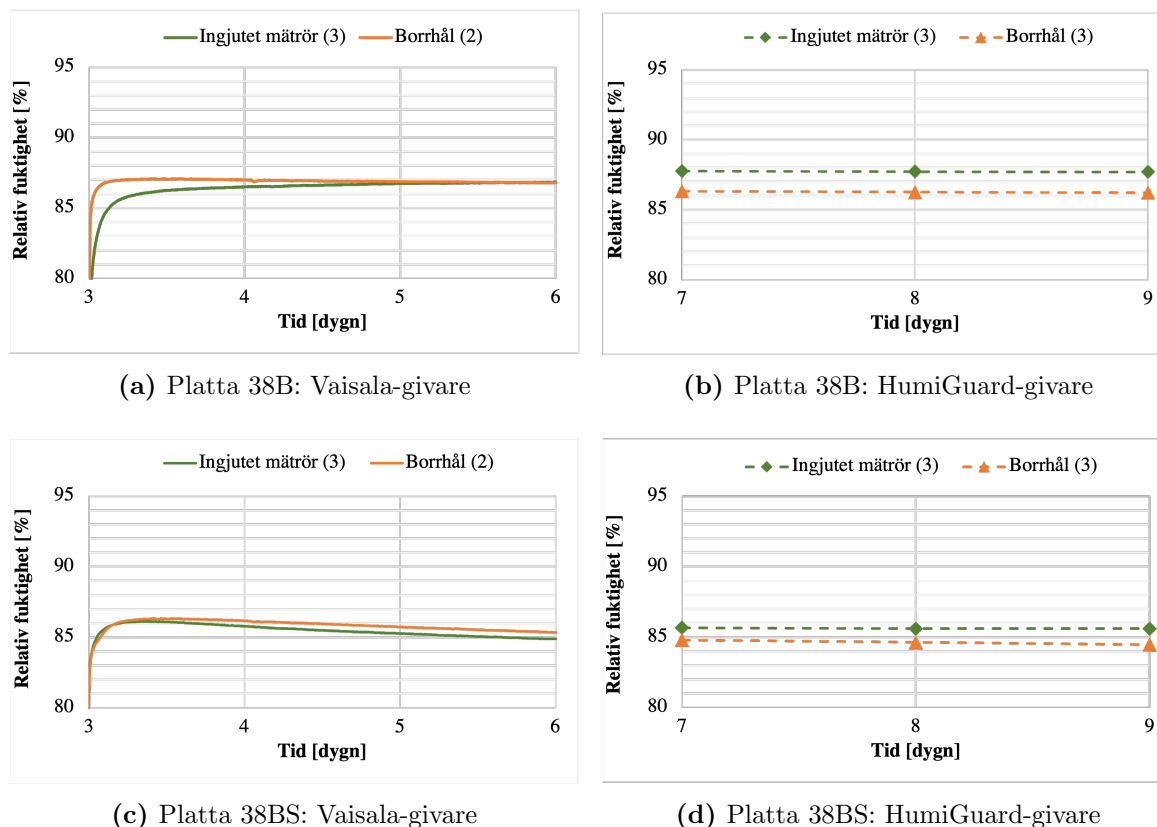
Figur 4.2: Borrhålmätning med och utan försegling på ovanytan.

4.2.1 Analys och diskussion

Från de loggade RF-nivåerna redovisade i figur 4.2 kan det inte ses någon skillnad i uppmätt RF ifall borrhålmätningen görs i betongen med eller utan försegling på ovanytan. Detta kan bero på att betongen var mycket tät på grund av dess låga vct på 0,38. Mätningen pågick i tre dygn och det skulle vara intressant att undersöka om eventuella skillnader i uppmätt RF blir större vid längre mättider.

4.3 Mätning av RF i borrhål jämfört med i ingjutna mätrör

I detta avsnitt jämförs mätningar av RF som gjorts i borrhål och ingjutna mätrör. Mätmetoderna utfördes i de två plattorna, P38B och P38BS. I figur 4.3a och 4.3b går det att jämföra de två metoderna mätt med Vaisala- och HumiGuard-givare i betong tillverkat på recept 38B. På liknande sätt kan man i figur 4.3c och 4.3d jämföra de två metoderna mätt med Vaisala- och HumiGuard-givare i betong tillverkat på recept 38BS.



Figur 4.3: Jämförande mellan mätning av RF i borrhål och i ingjutna mätrör för de två plattorna med recept 38B och 38BS. Tiden är räknat från att borrhål borrades och att tejp avlägsnades från ingjutna mätrör. Presenterade RF-nivåer är ett medelvärde av de monterade givarna. Värdet inom parentes representerar antalet monterade givare för respektive mätmetod.

Mätningar av RF för enskilda Vaisala- och HumiGuard-givare kan ses i bilaga B respektive bilaga C.

4.3.1 Analys och diskussion

Skillnad mellan mätmetoderna

I figur 4.3 kan det ses att de två mätmetoderna ger liknande RF. För mätningar utförda med Vaisala-givare är skillnaden mellan de två mätmetoderna ca 0,2 %-enheter. För

mätningar utförda med HumiGuard-givare är skillnaden mellan de två mätmetoderna ca 1 %-enhet.

Det finns främst två faktorer som skiljer de två mätmetoderna åt. För det första har betongen i mätpunkten för de ingjutna mätrören inte utsatts för lika stor temperaturutveckling som betongen i borrhål. För det andra har de ingjutna mätrören förmodligen mindre läckage än mätrören som monterats i borrhål.

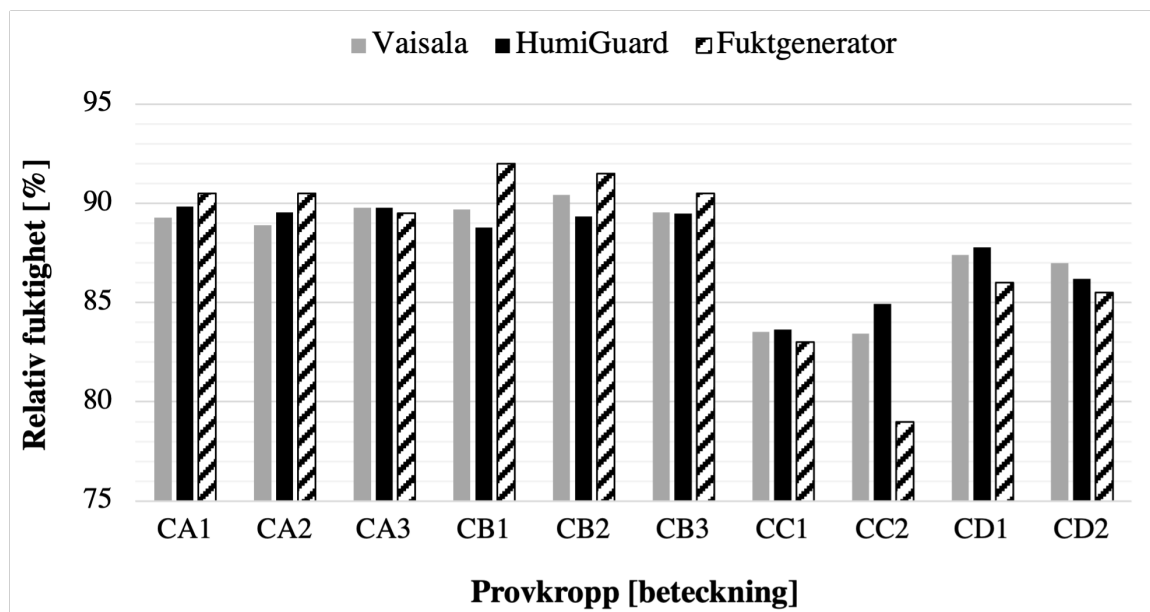
Temperaturen i borrhålen ökade från 20 °C till ca 70 °C när hålen borrades. När borrhålet sedan rengjordes med dammsugare sjönk temperaturen till ca 20 °C. Utifrån mätningarna med de två metoderna kan det antas att temperaturutvecklingen vid borrning av borrhål inte påverkar uppmätt RF. Det bör tilläggas att de två mätmetoderna utfördes med en veckas mellanrum. Mätning av RF utfördes först i ingjutna mätrör och sedan i borrhål. Temperaturutvecklingen från borrningen av borrhål kan därav inte ha påverkat uppmätt RF i ingjutna mätrör.

Sjunkande RF för Vaisala-givare i betong med 50% slagg.

Vid mätningar av RF i borrhål och ingjutna mätrör för betong med 50 % slagg visade Vaisala-givare sjunkande RF under mätningarna. Detta tyder på att det inte råder jämvikt mellan betong, luft och givare. Sjunkande RF-nivåer för betong med slagg har inte endast observerats i plattorna utan även i cylindriska provkroppar. Orsaken till att jämvikt inte är uppnådd går endast att spekulera i. Det bör undersökas varför mätningar av RF i betong med 50 % slagg av bindemedelsmassan visar sjunkande RF.

4.4 Mätning av RF i borrhål jämfört med uttagna prov i fuktgenerator

I figur 4.4 redovisas uppmätt RF i borrhål med Vaisala- och HumiGuard-givare och estimerad RF från uttagna prov i fuktgenerator. Mätningarna är utförda på de cylindriska provkropparna.



Figur 4.4: RF uppmätt i borrhål med Vaisala- och HumiGuard-givare jämfört med estimerad RF från uttagna prov i fuktgenerator.

Mätdata för samtliga uttagna prov när de exponerats i fuktgeneratoren kan ses i bilaga D.

4.4.1 Analys och diskussion

För betong utan slagg (CA och CB) visar uttagna prov i fuktgenerator högre RF än borrhålmätningarna, mellan 0-2,5 %-enheter. För betong innehållande slagg (CC och CD) kan det ses att metoden med fuktgenerator visar lägre RF-nivåer än borrhålmätningarna, mellan 0,5-6 %-enheter. Vilken av de två mätmetoderna som underskattar eller överskattar RF-nivån för betongen går ej att fastställa.

Mätosäkerheter

Osäkerheterna för metoden ”uttagna prov i fuktgenerator” är främst kopplade till hur mycket de uttagna proven torkade under hanteringen. Trots försök att förhindra uttorkning var det en faktor som inte kunde elimineras helt. Om de uttagna proven torkar underskattas RF-nivån för betongen. Trots denna osäkerhet visar metoden med fuktgenerator högre RF än borrhålmätning i provkroppar med recept 38B. Å andra sidan observerades det motsatta för betong med 50 % slagg. Om detta beror på att

de uttagna proven torkat under hanteringen går inte att fastställa. Utförandet var lika mellan de två typerna av betong med ett undantag. Det tog längre tid att se skillnader i massa när uttagna prov från betong med slagg exponerades i fuktgeneratorn. Detta medförde att de uttagna proven låg i plastpåsar en längre tid, ca 2 dygn mer. Om det var så att plastpåsar läckte kan det vara orsaken till att uttagna prov från betong med slagg visade lägre RF-nivåer än borrhålmätningarna.

Vid utförandet av uttagna prov i fuktgenerator har endast ett prov från en provkropp testats för en specifik RF. För att metoden ska vara tillförlitlig och fungera korrekt är det viktigt att alla uttagna prov från en betong har samma RF och en RF som representerar betongen som helhet. Om RF varierar mellan de uttagna proven kan metoden med fuktgenerator inte ge tillförlitliga RF.

5 Slutsats

Baserat på mätresultat och analys kan följande slutsatser presenteras för att besvara frågeställningarna som ställdes i avsnitt 1.3.

Hur skiljer sig de uppmätta värdena för relativ fuktighet i betong när man använder Vaisala-givare jämfört med HumiGuard-givare?

- Vid mätning av RF i borrhål visades ingen systematisk skillnad mellan användningen av Vaisala- och HumiGuard-givare. Skillnader som observerades var slumpmässiga.
- Skillnaden i uppmätt RF mellan Vaisala- och HumiGuard-givare var i samma storleksordning som skillnaden mellan givare av samma fabrikat.

Hur skiljer sig de uppmätta värdena för relativ fuktighet i betong när borrhålmätning används jämfört med en annan metod där borring inte är nödvändig?

- Undersökningen visade inte på någon betydlig skillnad i uppmätt RF mellan de två mätmetoderna. Skillnaden i uppmätt RF mellan metoderna ryms inom mätosäkerheten för givarna.

Är borrhålmätning den metoden som bör användas för att bestämma nivån av relativ fuktighet i betong eller kan den förbättras?

- Utifrån mätningar av RF på uttagna prov i fuktgenerator riskerar borrhålmätning enligt RBK att överskatta RF-nivån i betong med 50 % slagg av bindemedelsmassan. Anledningen till detta kan ej fastställas.
- Det var svårt att få mätrör tillhörande Vaisala-givare täta. Det behövs undersökas hur tätningssmassan skall appliceras utöver det som står i RBKs fukt-mättningsmanual. För att undvika handhavandefel bör tätningen ändras till något liknande som idag används för mätrör tillhörande HumiGuard-givare.
- Temperaturutvecklingen i samband med borring av mätthål har ingen påverkan på uppmätt RF ifall avläsning av givare görs sex dygn efter att borrhål borrades.

6 Förslag till fortsatta studier

- Undersöka hur temperaturutveckling från 20 °C till 70 °C påverkar uppmätt RF i borrhål. Utföra försöken under kontrollerade former, där skillnader i uppmätt RF inte beror på otillräcklig tätning av mätrör.
- Undersöka hur uppmätt RF vid borrhålsmätning skiljer sig ifall ett traditionellt borrstål eller ett ventilerat borrstål används.
- Undersöka varför uttagna prov i fuktgenerator visar lägre RF nivåer än mätning i borrhål för betong innehållande 50 % slagg av bindemedelsmassan.
- Undersöka hur uppmätt RF från borrhålsmätning förhåller sig till metoden med uttagna prov i fuktgenerator när betongen utsatts för enkelsidig uttorkning.

Litteratur

- [1] Rapp T. *Fuktmätning manual version 6:1*. URL: https://www.rbk.nu/ladda-ner-bestall/fuktmatningsmanual__36. (Hittad: 23.01.2023).
- [2] Hedenblad G. och Nilsson L-O. *Kritiska fuktillstånd för några byggnadsmaterial: preliminär undersökning*. TVBM-3028. Avd Byggnadsmaterial LTH, Lunds universitet, (1987).
- [3] Boverket. *Boverkets byggregler, BBR, BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4*. (2020).
- [4] Burström P-G. och Nilvér K. *Byggnadsmaterial, Tillverkning, egenskaper och användning*. Studentlitteratur AB, (2021).
- [5] Johansson P. *Fuktmätning i betong med lågt vct, steg 1*. SBUF-projekt 12656. Svenska byggbranschens utvecklingsfond, (2014).
- [6] Johansson P. *Fuktmätning i betong med lågt vct, steg 3*. SBUF-projekt 12941. Svenska byggbranschens utvecklingsfond, (2016).
- [7] Brander P. och Bergström K. “Konsten att förstå sig på läckande mätthål i betong”. I: *Husbyggaren* Nr. 2 (2017), s. 30–32.
- [8] Bergström K. och Selander A. “En resa i borrhålens förlovade värld”. I: *Husbyggaren* Nr. 2 (2022), s. 40–45.
- [9] Svensk betong. *Vägledning klimatförbättrad betong, utgåva 2*. Svensk betong, (2022). URL: <https://www.svenskbetong.se/hallbarhet/klimatforbattrad-betong>.
- [10] Carlswärd J. “Uttorkningsegenskaper hos klimatförbättrad betong”. I: *Bygg & Teknik* Nr. 6 (2020).
- [11] Arfvidsson J. och Harderup L.-E. och Samuelson I. *Fukthandbok, Praktik och Teori*. Svensk byggtjänst, (2017).
- [12] Åhs M. *Simulering av fuktmätning i betong med lågt vct*. TVBM-3177. Avd Byggnadsmaterial LTH, Lunds universitet, (2014).
- [13] Silfwerbrand J. et al. *Betonghandbok, Material, Delmaterial samt färsk och hårdnande betong Del 1*. Svensk byggtjänst, (2017).
- [14] Bergström K. et al. “Funktionsprova betongens självtorkning och minska koldioxidavtrycket”. I: *Husbyggaren* Nr. 2 (2023), s. 8–11.
- [15] Rapp T. *Uttorkning av betong med mineraliskt tillsatsmaterial*. Rådet för byggkompetens, Stockholm, (2016).
- [16] Nilsson, L-O. *Hygroscopic moisture in concrete - drying, measurements related material properties*. TVBM-3028. Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, (1980).

Bilaga A

Provningsplan

I denna bilaga redovisas en detaljerad provningsplan över vilka mätmetoder som utfördes i de olika provkropparna.

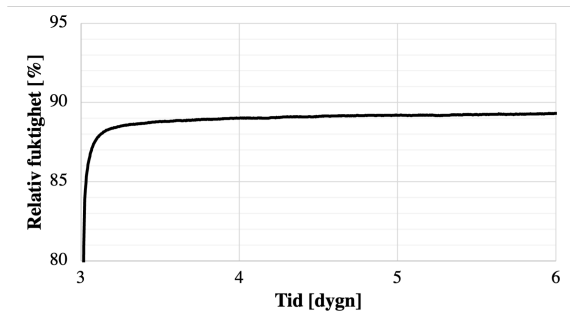
Tabell A.1: Detaljerad provningsplan.

Provkropp	Mätning av RF i borrhål		Mätning av RF i ingjutna mätrör		Uttaget prov i fuktgenerator
	Vaisala [antal]	HumiGuard [antal]	Vaisala [antal]	HumiGuard [antal]	
CA1	2	2	–	–	X
CA2	2	2	–	–	X
CA3	2	2	–	–	X
CA4	–	–	–	–	X
CA5	–	–	–	–	X
CB1	2	2	–	–	X
CB2	2	2	–	–	X
CB3	2	2	–	–	X
CB4	–	–	–	–	X
CB5	–	–	–	–	X
CC1	2	2	–	–	X
CC2	2	2	–	–	X
CC3	–	–	–	–	X
CC4	–	–	–	–	X
CD1	2	2	–	–	X
CD2	2	2	–	–	X
CD3	–	–	–	–	X
CD4	–	–	–	–	X
P38B	8	3	3	3	–
P38BS	8	3	3	3	–

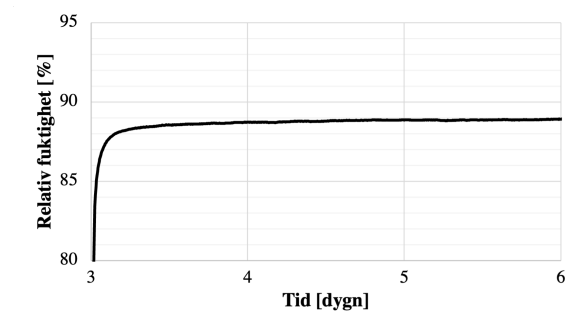
Bilaga B

Mätdata: Vaisala

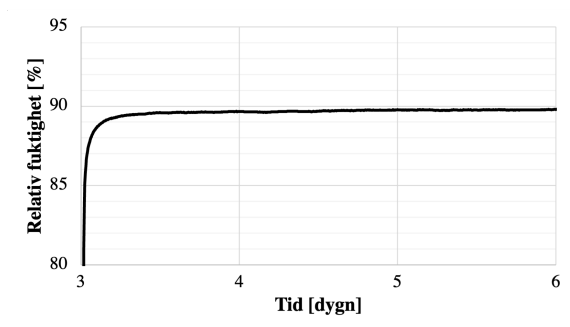
I figur B.1 till B.10 redovisas mätningar av RF i borrhål med Vaisala-givare i cylindriska provkroppar. Uppmätt RF är ett medelvärde av två monterade givare.



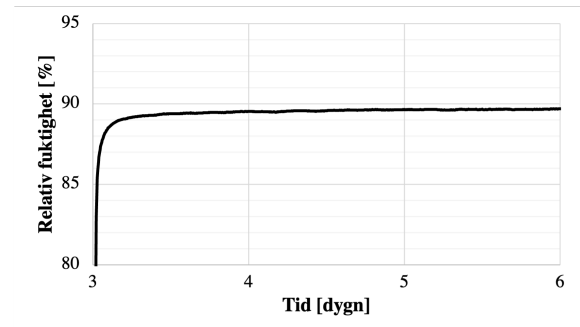
Figur B.1: Provkropp CA1.



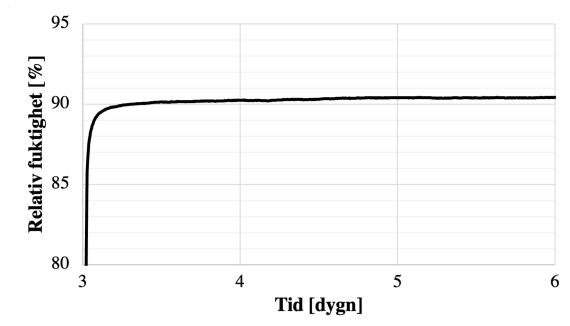
Figur B.2: Provkropp CA2.



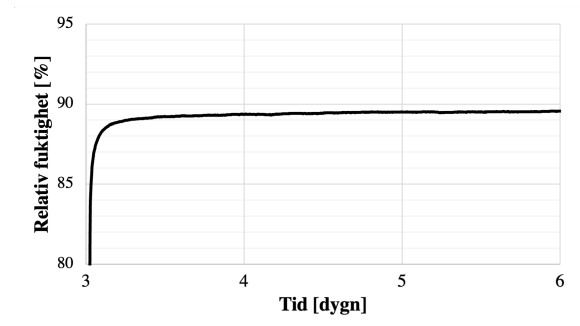
Figur B.3: Provkropp CA3.



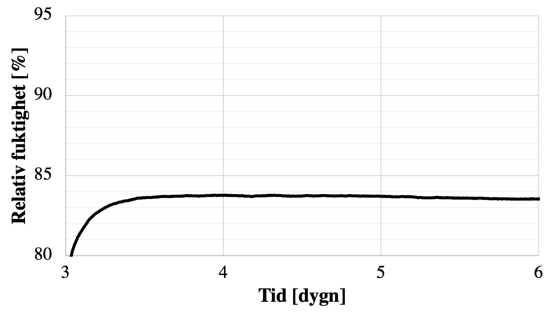
Figur B.4: Provkropp CB1.



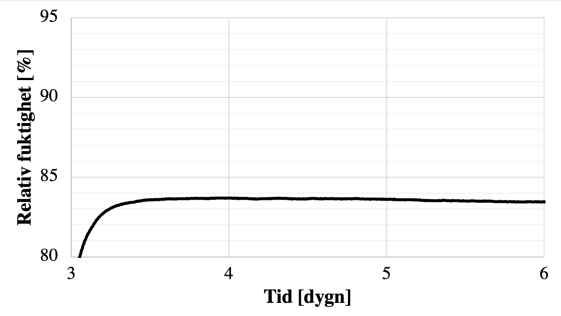
Figur B.5: Provkropp CB2.



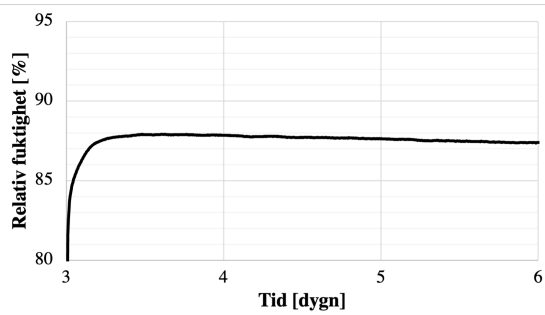
Figur B.6: Provkropp CB3.



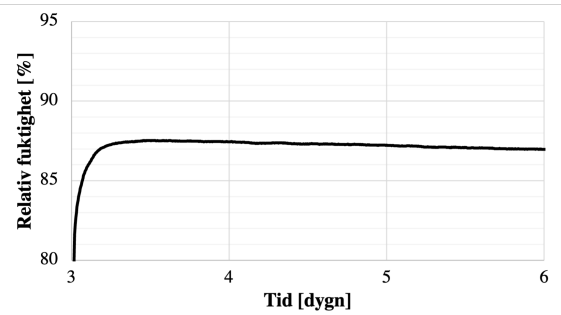
Figur B.7: Provkropp CC1.



Figur B.8: Provkropp CC2.

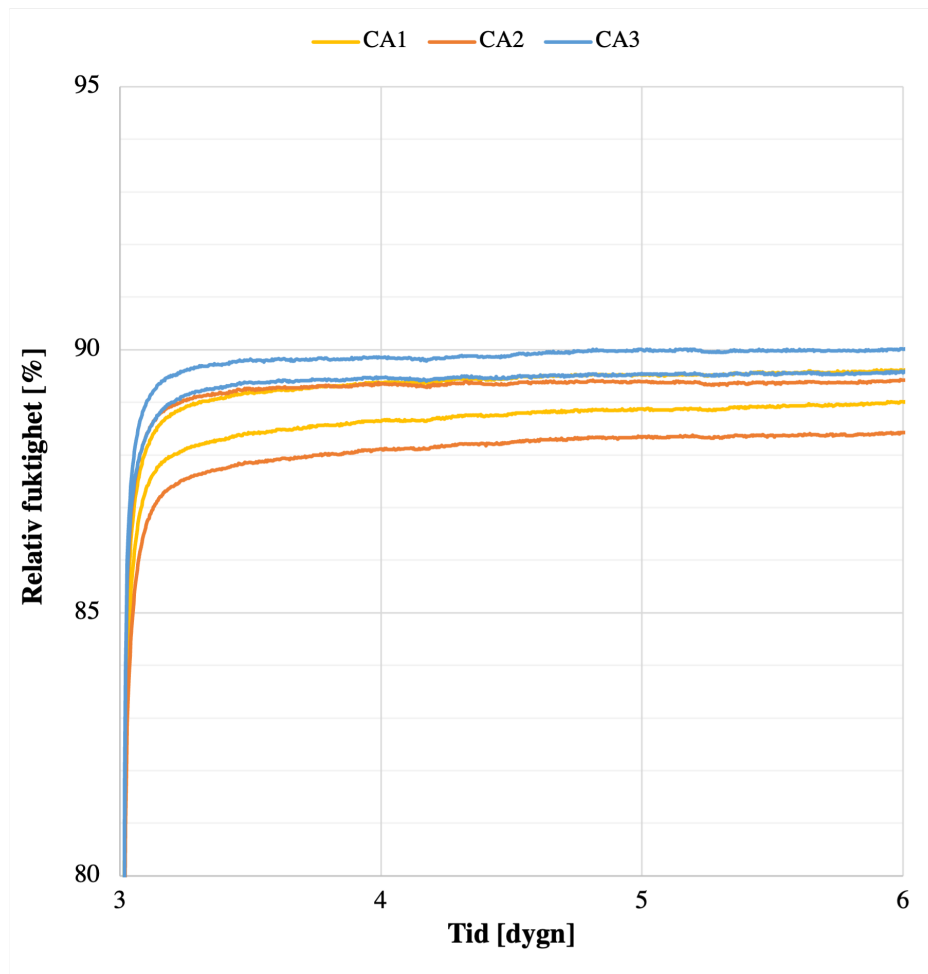


Figur B.9: Provkropp CD1.

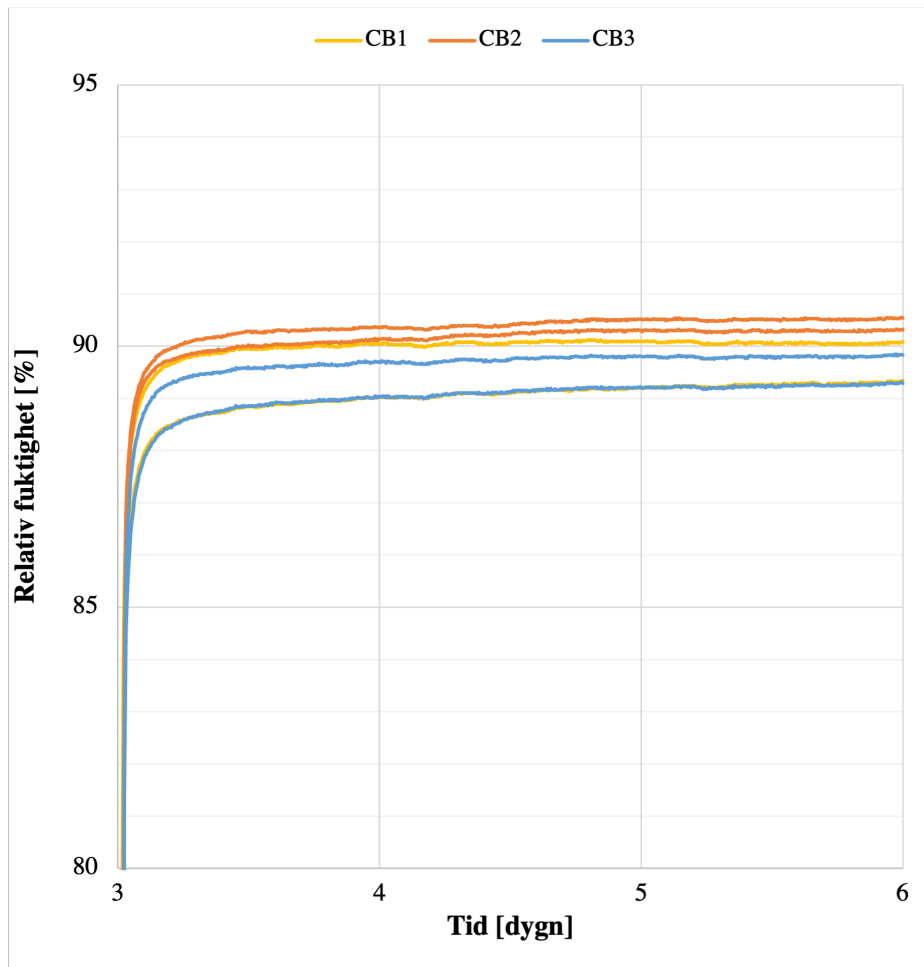


Figur B.10: Provkropp CD2.

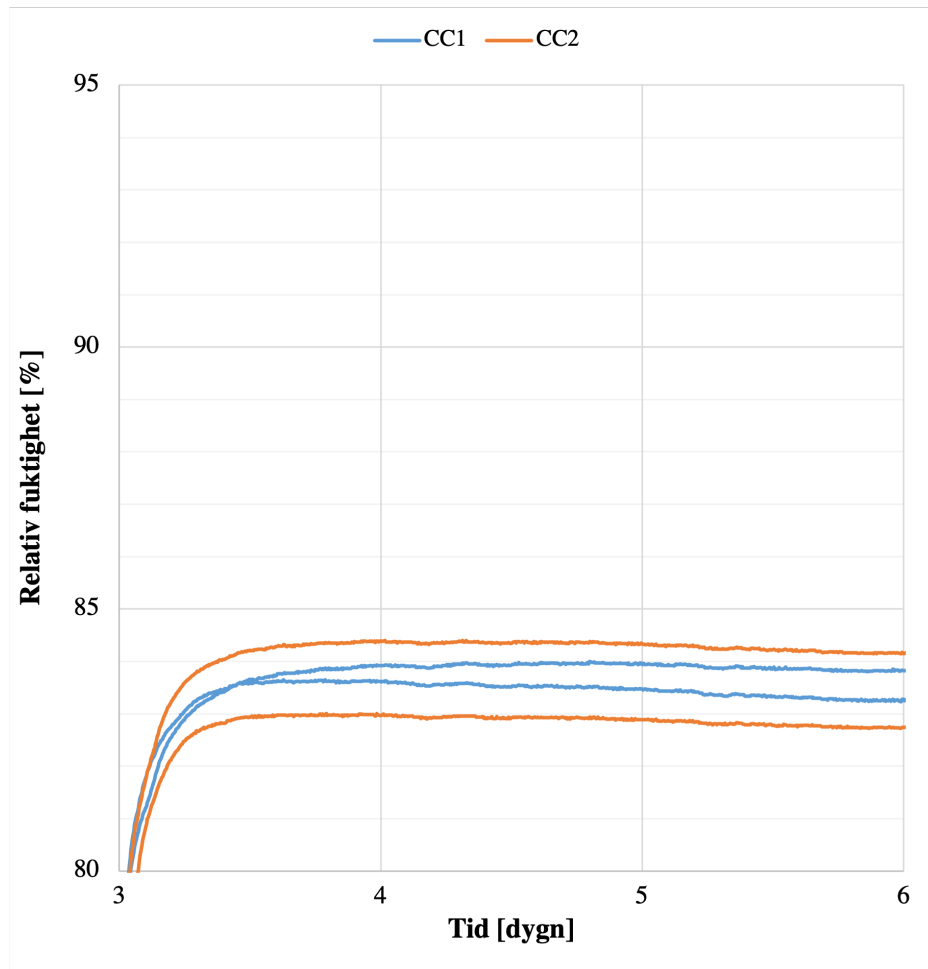
I figur B.11 till B.14 presenteras loggad RF för enskilda Vaisala-givare monterade i cylindriska provkroppar.



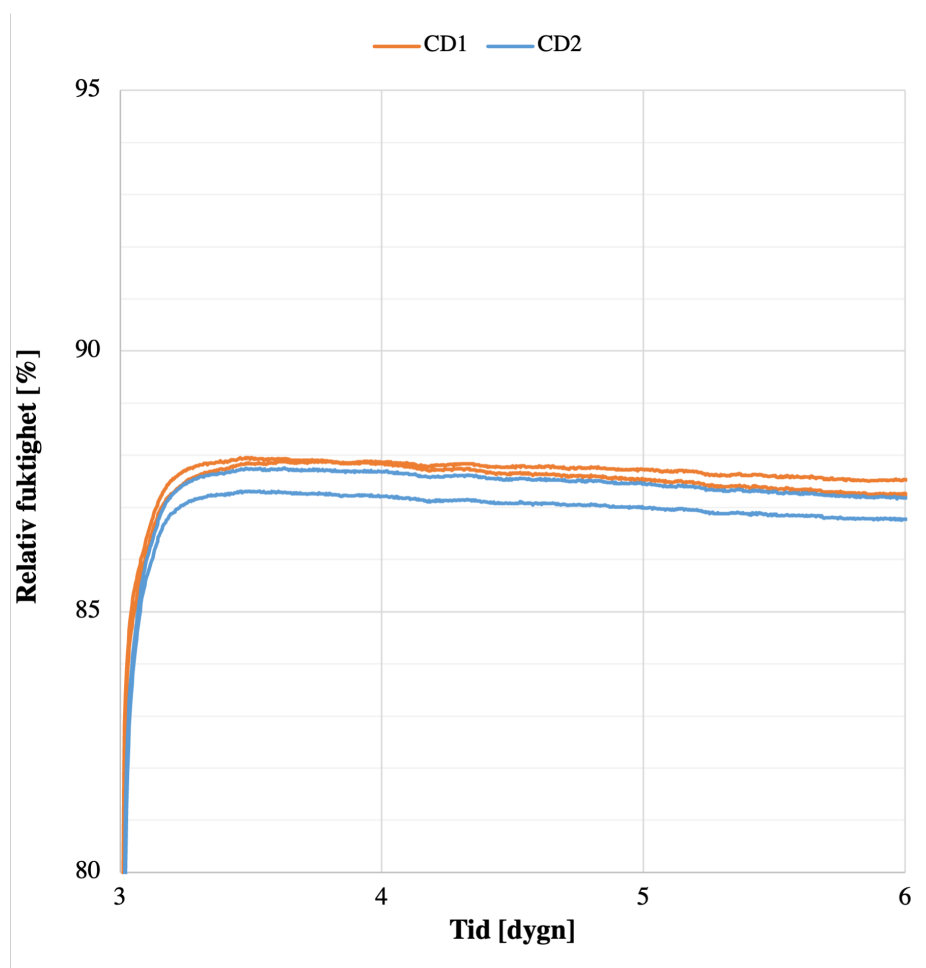
Figur B.11: Cylindriska provkroppar av blandning CA, betongrecept 38B



Figur B.12: Cylindriska provkroppar av blandning CB, betongrecept 38B

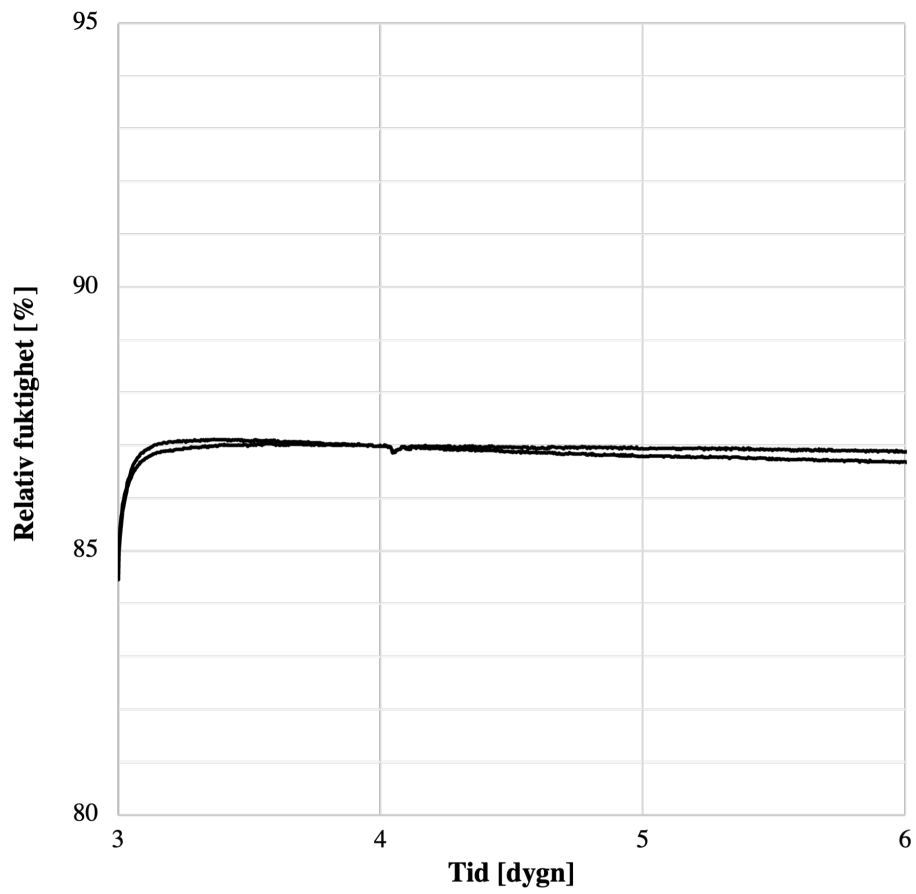


Figur B.13: Cylindriska provkroppar av blandning CC, betongrecept 38BS

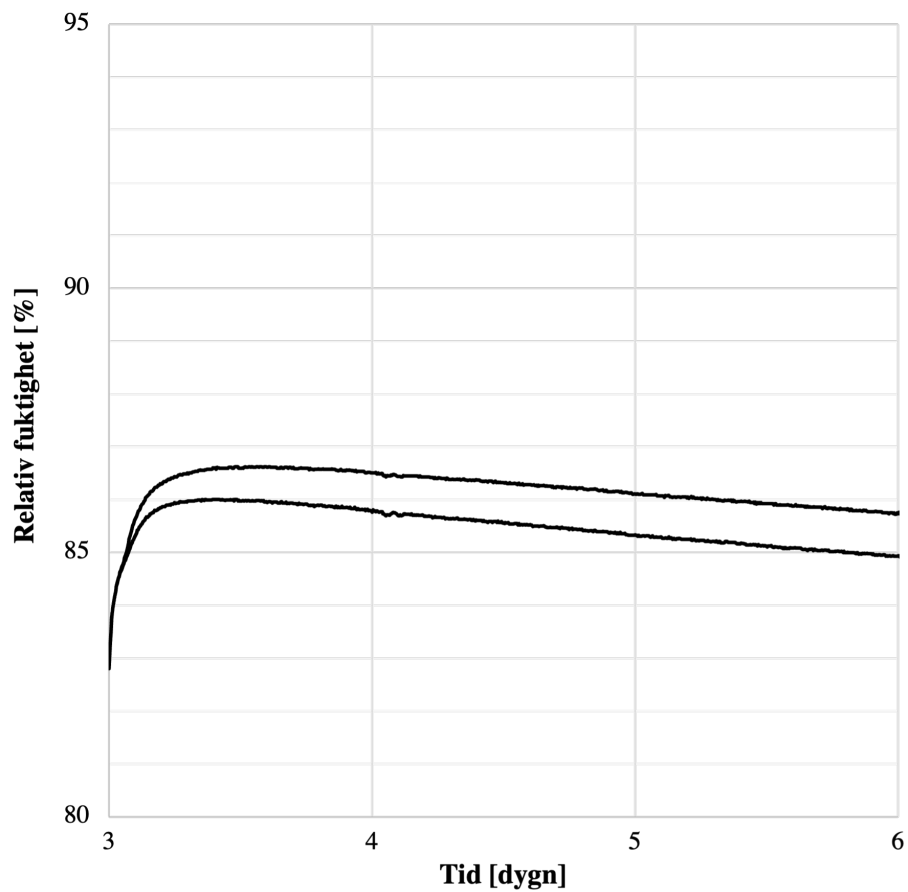


Figur B.14: Cylindriska provkroppar av blandning CD, betongrecept 38BS

I figur B.15 och B.16 visas uppmätt RF från enskilda givare monterade i borrhål i plattorna, P38B och P38BS.

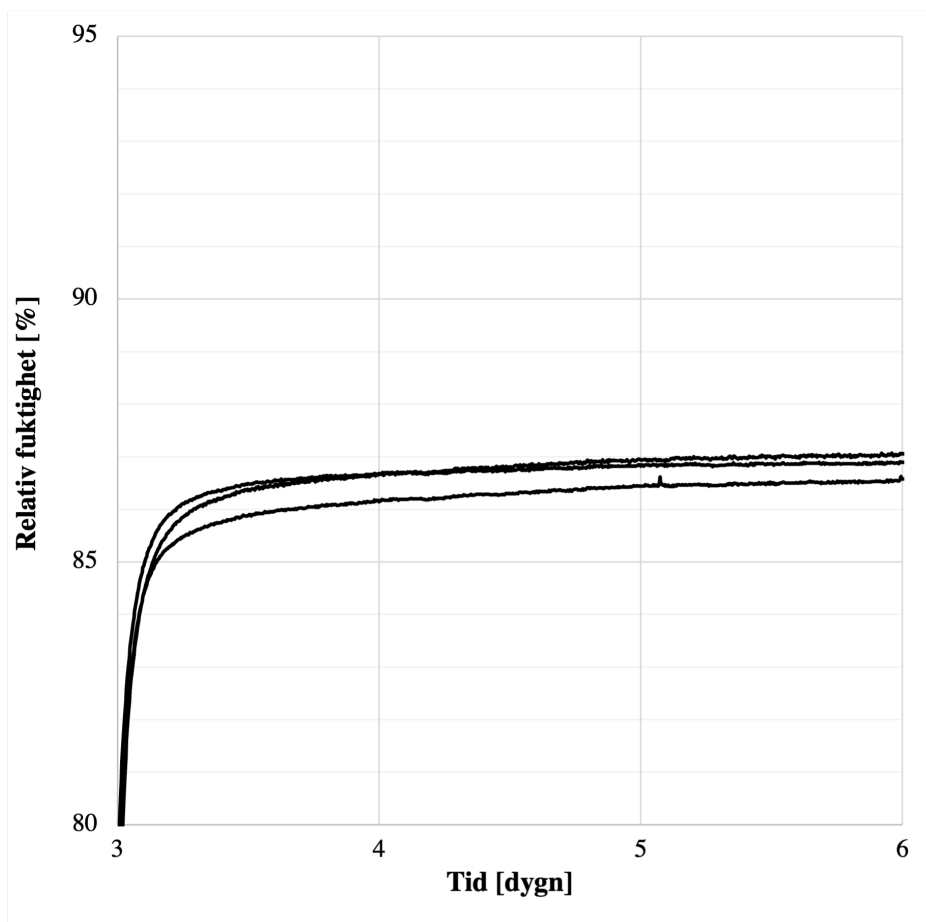


Figur B.15: Platta: P38B

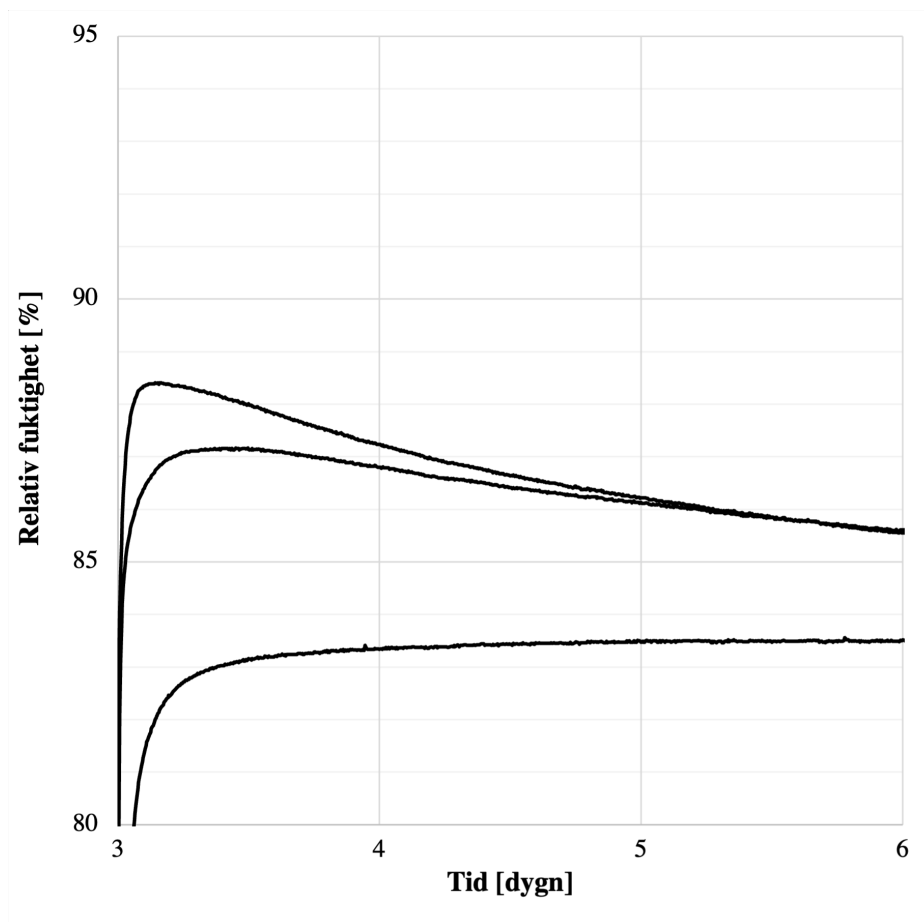


Figur B.16: Platta: P38BS

I figur B.17 och B.18 visas uppmätt RF från enskilda givare monterade i ingjutna mätörer i plattorna, P38B och P38BS.



Figur B.17: Platta: P38B

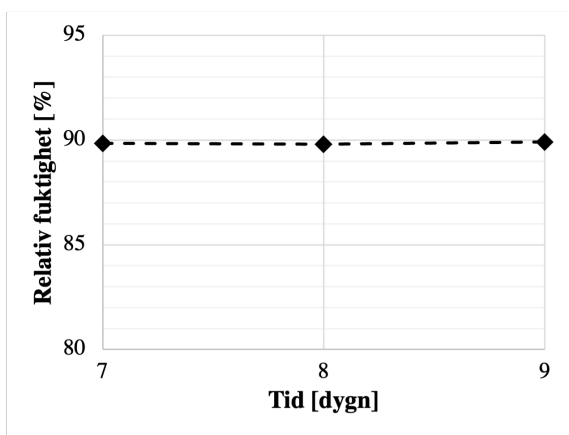


Figur B.18: Platta: P38BS

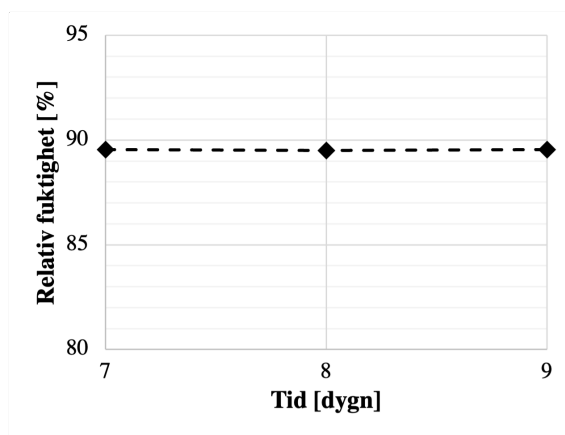
Bilaga C

Mätdata: HumiGuard

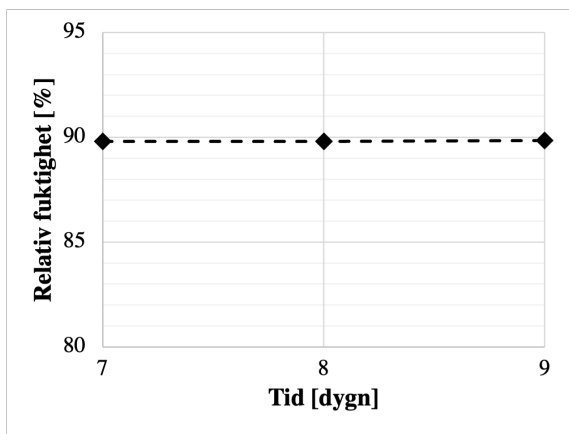
I figur C.1 till C.10 redovisas RF-mätningar i borrhål med HumiGuard-givare i cylindrisk provkroppar. Uppmätt RF är ett medelvärde av två monterade givare.



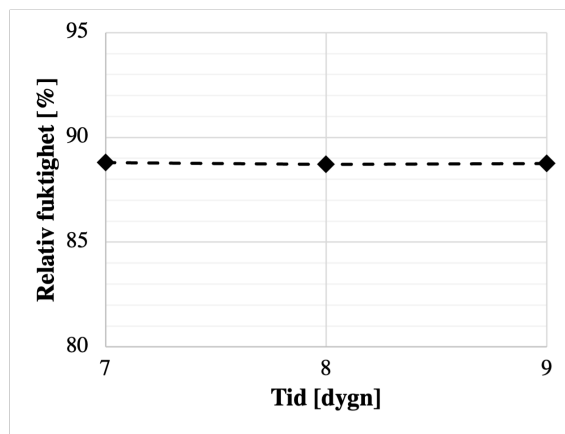
Figur C.1: Provkropp CA1.



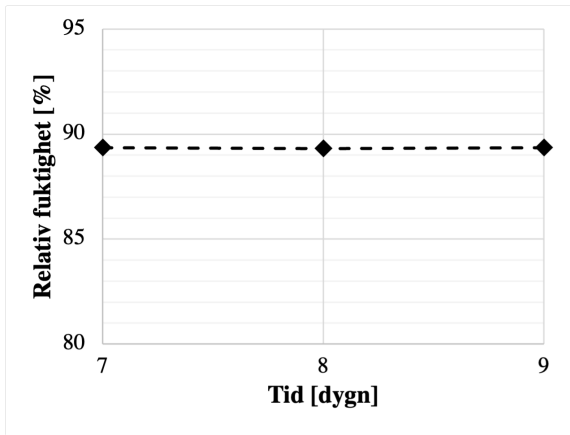
Figur C.2: Provkropp CA2.



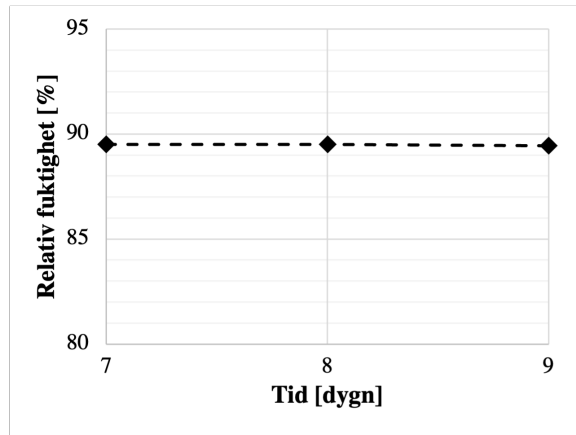
Figur C.3: Provkropp CA3.



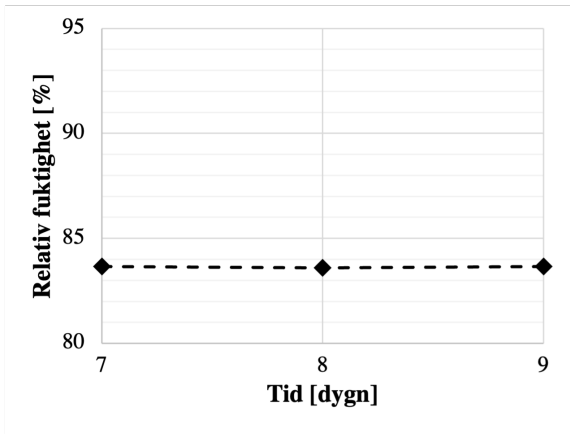
Figur C.4: Provkropp CB1.



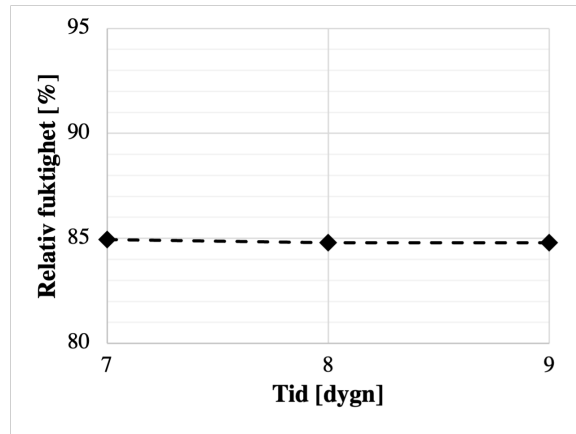
Figur C.5: Provkropp CB2.



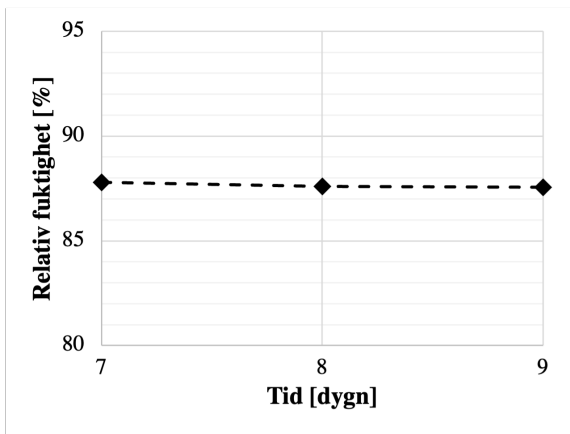
Figur C.6: Provkropp CB3.



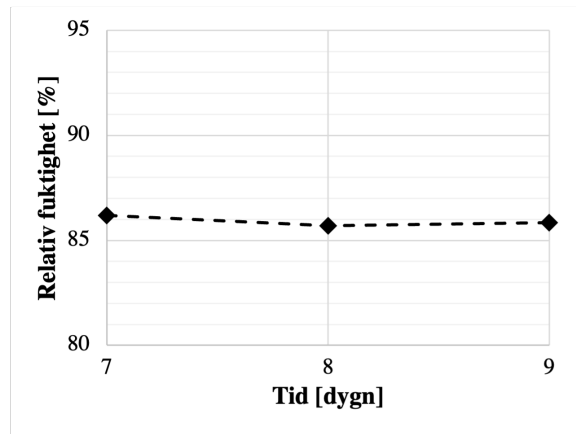
Figur C.7: Provkropp CC1.



Figur C.8: Provkropp CC2.



Figur C.9: Provkropp CD1.



Figur C.10: Provkropp CD2.

I tabell C.1 till C.6 visas avlästa värden för enskilda Humiguard-givare i cylindriska provkroppar och plattor. IRH står för ingjutna mätrör, HumiGuard och siffran betecknar olika mätpunkter.

Tabell C.1: Mätdata 7 dygn efter montering av HumiGuard-givare.

Referensgivare	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]				
1	78,8	11,59				
2	79	11,57				
Cylindriska provkroppar, borrhålsmetoden						
Provkropp	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]	RF [%]	Temp [$^{\circ}\text{C}$]	RH20 [%]	Final RF+U [%]
CC1-38BS	80,4	9,83	83,6	20,1	83,6	84,9
	80,2	9,77	83,6	20	83,6	84,9
CC2-38BS	80	11,8	85,2	20	85,2	86,5
	79,6	10,69	84,4	19,9	84,4	85,7
CA1-38B	79,5	21,22	89,9	19,8	89,9	91,4
	79,2	20,6	89,7	19,8	89,7	91,2
CA2-38B	79,4	20,39	89,6	19,8	89,6	91,1
	79,8	19,78	89,4	19,9	89,4	90,9
CA3-38B	79	19,99	89,5	19,7	89,6	91,1
	78,8	21,18	89,9	19,6	90	91,5
CB1-38B	80,8	19,75	89,3	20,2	89,2	90,7
	79,5	16,99	88,2	19,8	88,2	89,6
CB2-38B	79,8	20,95	89,8	19,9	89,8	91,3
	79,5	18,29	88,8	19,8	88,8	90,2
CB3-38B	80,7	19,62	89,3	20,2	89,2	90,7
	79,2	20,7	89,7	19,8	89,8	91,3
CD1-38BS	79,6	16,62	88	19,9	88	89,4
	80,9	15,29	87,2	20,2	87,2	88,6
CD2-38BS	79,7	13,58	86,3	19,9	86,3	87,6
	79,7	11,58	85	19,9	85,1	86,4
Plattor (38B och 38BS), ingjutna mätrör						
Provkropp/mätpunkt	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]	RF [%]	Temp [$^{\circ}\text{C}$]	RH20 [%]	Final RF+U [%]
IRH1-38B	79,3	16,08	87,7	19,5	87,8	89,2
IRH2-38B	79,2	15,8	87,6	19,8	87,7	89,1
IRH3-38B	80,5	13,75	86,4	20,1	86,3	87,6
IRH1-38BS	81,7	13,49	86,1	20,4	86	87,3
IRH2-38BS	81,4	14,17	86,6	20,4	86,5	87,8
IRH3-38BS	81,3	12,83	85,8	20,3	85,7	86,9

Tabell C.2: Mätdata 7 dygn efter montering av HumiGuard-givare.

Referensgivare	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]				
1	79,1	11,46				
2	79,3	11,37				
Plattor (38B och 38BS), Borrhålsmetoden						
Provkropp/mätpunkt	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]	RF [%]	Temp [$^{\circ}\text{C}$]	RH20 [%]	Final RF+U [%]
BH1-38B	79,7	12,75	85,9	19,9	86	87,3
BH2-38B	80	14,33	86,9	20	86,9	88,2
BH3-38B	79,6	12,9	86	19,9	86,1	87,4
BH1-38BS	79,7	9,4	83,4	19,9	83,5	84,8
BH2-38BS	80,7	11,22	84,9	20,2	84,8	86,1
BH3-38BS	80	12,99	86,1	20	86,1	87,4

Tabell C.3: Mätdata 8 dygn efter montering av HumiGuard-givare.

Referensgivare	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]				
1	78,6	11,61				
2	78,8	11,59				
Cylindriska provkroppar, borrhålsmetoden						
Provkropp	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]	RF [%]	Temp [$^{\circ}\text{C}$]	RH20 [%]	Final RF+U [%]
CC1-38BS	79,7	9,76	83,6	19,9	83,6	84,9
	79,8	9,82	83,6	19,9	83,7	85,0
CC2-38BS	79,7	12,00	85,3	19,9	85,3	86,6
	79,4	10,88	84,5	19,8	84,6	85,9
CA1-38B	79,2	21,27	89,9	19,8	89,9	91,4
	78,9	20,73	89,7	19,7	89,8	91,3
CA2-38B	79,1	20,39	89,6	19,7	89,7	91,2
	79,6	19,81	89,4	19,9	89,4	90,9
CA3-38B	78,8	20,01	89,5	19,6	89,6	91,1
	78,5	21,23	89,9	19,6	90,0	91,5
CB1-38B	80,0	19,58	89,3	20	89,3	90,8
	79,0	17,17	88,3	19,7	88,3	89,7
CB2-38B	79,6	21,01	89,8	19,9	89,8	91,3
	79,3	18,50	88,9	19,8	88,9	90,3
CB3-38B	80,4	19,63	89,3	20,1	89,2	90,7
	78,9	20,72	89,7	19,7	89,8	91,3
CD1-38BS	78,9	16,85	88,1	19,7	88,2	89,6
	80,3	15,55	87,4	20,1	87,4	88,8
CD2-38BS	79,5	14,89	87,1	19,8	87,1	88,5
	79,5	11,99	85,3	19,8	85,3	86,6
Plattor (38B och 38BS), ingjutna mätörer						
Provkropp/mät punkt	Svart, konduktans	Gul, konduktans	RF [%]	Temp [$^{\circ}\text{C}$]	RH20 [%]	Final RF+U [%]
IRH1-38B	78,4	15,88	87,6	19,5	87,8	89,2
IRH2-38B	78,2	15,66	87,5	19,5	87,7	89,1
IRH3-38B	79,4	16,27	87,8	19,8	87,8	89,2
IRH1-38BS	80,2	13,54	86,2	20	86,2	87,5
IRH2-38BS	80,2	14,3	86,7	20	86,7	88
IRH3-38BS	80,3	12,99	85,9	20,1	85,9	87,2

Tabell C.4: Mätdata 8 dygn efter montering av HumiGuard-givare.

Referensgivare	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]				
1	79,2	11,44				
2	79,4	11,34				
Plattor (P38B och P38BS) Borrhålsmetoden						
Provkropp/mät punkt	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]	RF [%]	Temp [$^{\circ}\text{C}$]	RH20 [%]	Final RF+U [%]
BH1-38B	78,9	15,68	87,7	19,7	87,8	89,2
BH2-38B	78,7	14,93	87,3	19,6	87,4	88,8
BH3-38B	79,9	16,23	87,9	19,9	88	89,4
BH1-38BS	80,7	12,38	85,7	20,2	85,6	86,9
BH2-38BS	80,7	13,13	86,1	20,2	86,1	87,4
BH3-38BS	80,8	11,65	85,2	20,2	85,1	86,4

Tabell C.5: Mätdata 9 dygn efter montering av HumiGuard-givare.

Referensgivare	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]				
1	79,1	11,61				
2	79,3	11,57				
Cylindriska provkroppar, borrhålsmätning						
Provkropp	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]	RF [%]	Temp [$^{\circ}\text{C}$]	RH20 [%]	Final RF+U [%]
CC1-38BS	80	9,81	83,7	20	83,7	85
	80	9,72	83,6	20	83,6	84,9
CC2-38BS	80,3	11,81	85,2	20,1	85,2	86,5
	80	10,68	84,4	20	84,4	85,7
CA1-38B	79,6	21,41	89,9	19,9	89,9	91,4
	79,4	20,72	89,9	18,4	90,4	91,9
CA2-38B	79,5	20,52	89,6	19,8	89,7	91,2
	80	19,89	89,4	20	89,4	90,9
CA3-38B	79,1	20,04	89,6	19,7	89,7	91,2
	78,8	21,22	89,9	19,6	90	91,5
CB1-38B	80,4	19,76	89,3	20,1	89,3	90,8
	79,3	16,85	88,1	19,8	88,2	89,6
CB2-38B	80	21,07	89,8	20	89,8	91,3
	79,7	18,26	88,8	19,9	88,9	90,2
CB3-38B	80,9	19,72	89,1	20,2	89,1	90,6
	79,4	20,82	89,7	19,8	89,8	91,3
CD1-38BS	79,1	16,35	87,9	19,7	88	89,4
	80,4	15,07	87,1	20,1	87,1	88,5
CD2-38BS	79,9	14,47	86,8	19,9	86,8	88,1
	80	11,42	84,9	20	84,9	86,2
Plattor (38B och 38BS), ingjutna mätrör						
Provkropp/mät punkt	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]	RF [%]	Temp [$^{\circ}\text{C}$]	RH20 [%]	Final RF+U [%]
IRH1-38B	78,9	16,04	87,7	19,7	87,8	89,2
IRH2-38B	78,7	15,67	87,6	19,6	87,7	89,1
IRH3-38B	79,9	16,63	88	19,9	88	89,4
IRH1-38BS	80,7	13,22	86	20,2	86	87,3
IRH2-38BS	80,8	13,94	86,5	20,2	86,4	87,7
IRH3-38BS	80,8	12,61	85,7	20,2	85,6	86,9

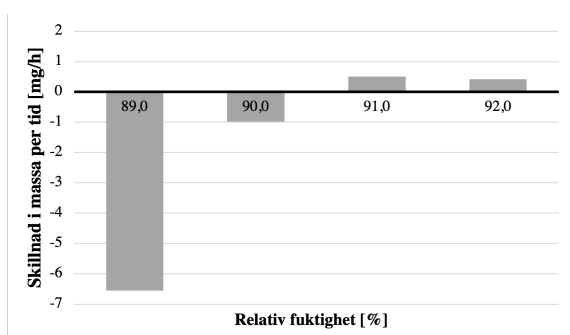
Tabell C.6: Mätdata 9 dygn efter montering av HumiGuard-givare.

Referensgivare	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]				
1	79,5	11,43				
2	79,6	11,31				
Plattor (P38B och P38BS) Borrhålsmetoden						
Provkropp/mät punkt	Svart, konduktans [μS]	Gul, konduktans [μS]	RF [%]	Temp [$^{\circ}\text{C}$]	RH20 [%]	Final RF+U [%]
BH1-38B	79	15,62	87,7	19,7	87,8	89,2
BH2-38B	78,9	14,81	87,3	19,7	87,4	88,8
BH3-38B	80	16,14	87,9	20	87,9	89,3
BH1-38BS	80,8	12,26	85,6	20,2	85,6	86,9
BH2-38BS	80,8	13,05	86,1	20,2	86,1	87,4
BH3-38BS	80,9	11,52	85,1	20,2	85,1	86,4

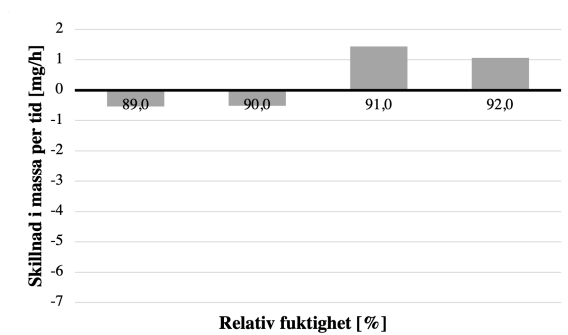
Bilaga D

Mätdata: Uttagna prov i fuktgenerator

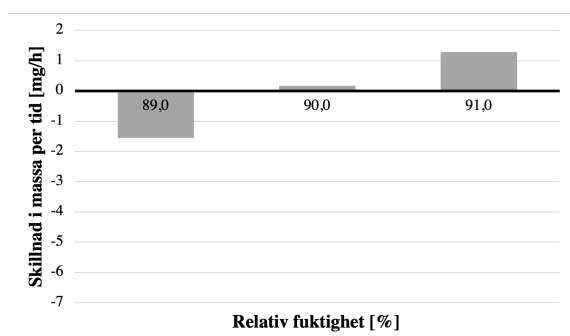
I figur D.1 till D.18 redovisas skillnader i massa per timme för uttagna prov som exponerats i fuktgenerator.



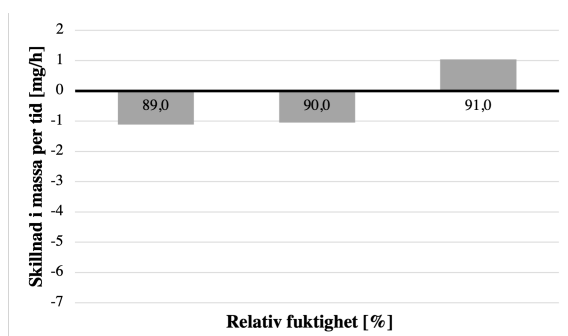
Figur D.1: Provkropp CA1.



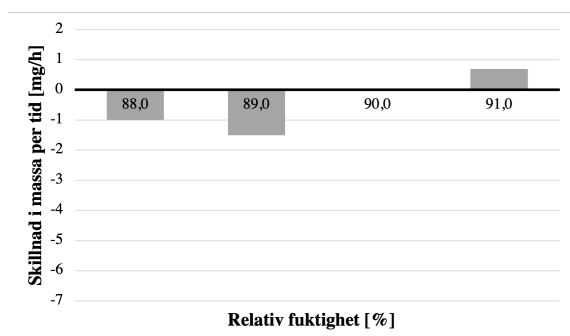
Figur D.2: Provkropp CA2.



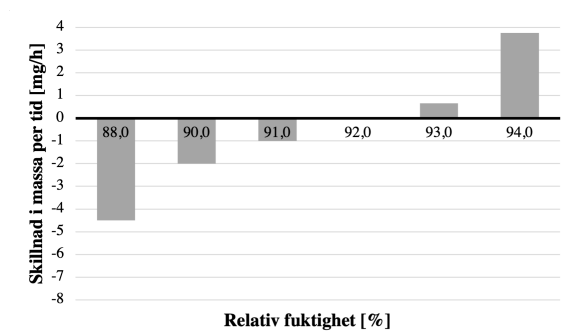
Figur D.3: Provkropp CA3.



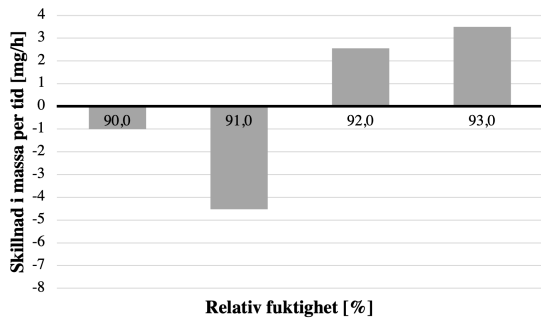
Figur D.4: Provkropp CA4.



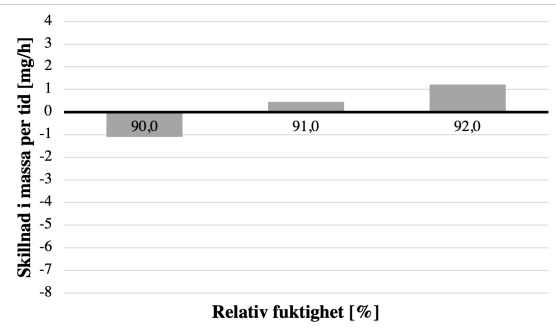
Figur D.5: Provkropp CA5.



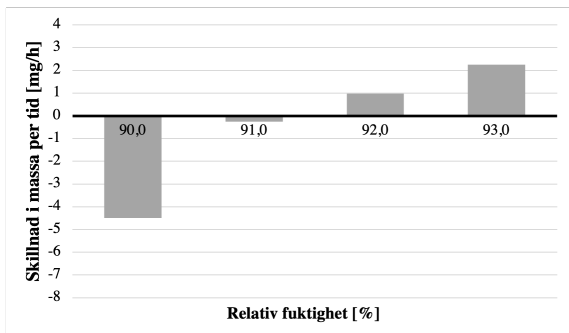
Figur D.6: Provkropp CB1.



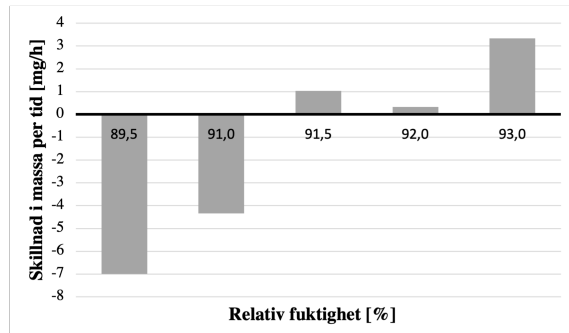
Figur D.7: Provkropp CB2.



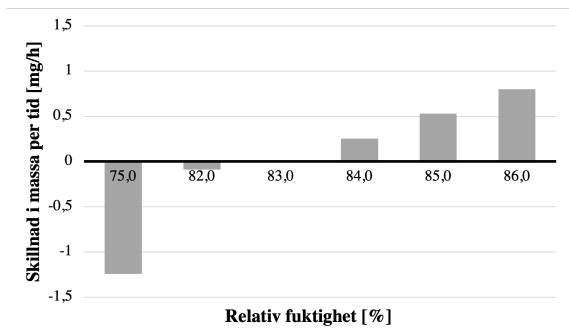
Figur D.8: Provkropp CB3.



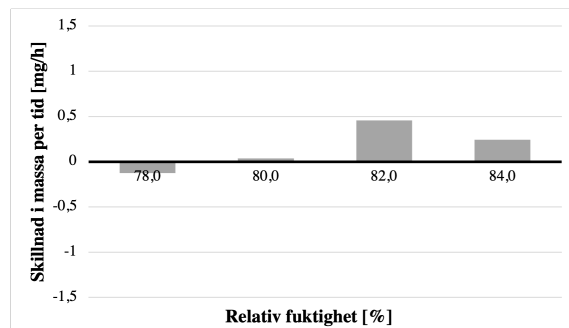
Figur D.9: Provkropp CB4.



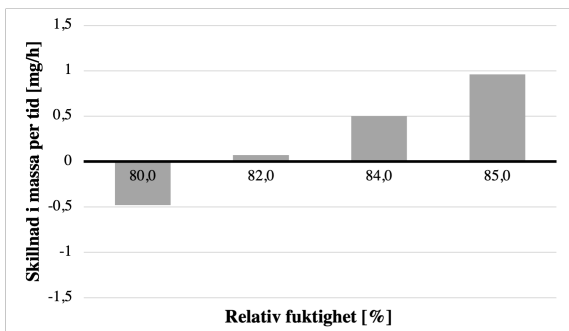
Figur D.10: Provkropp CB5.



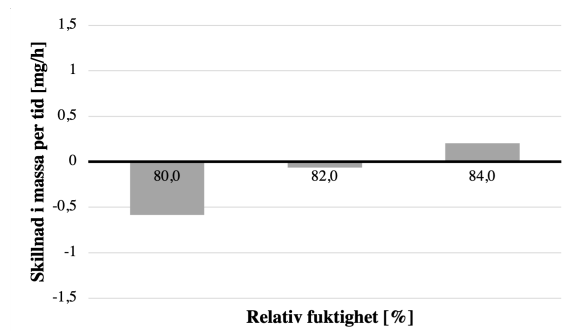
Figur D.11: Provkropp CC1.



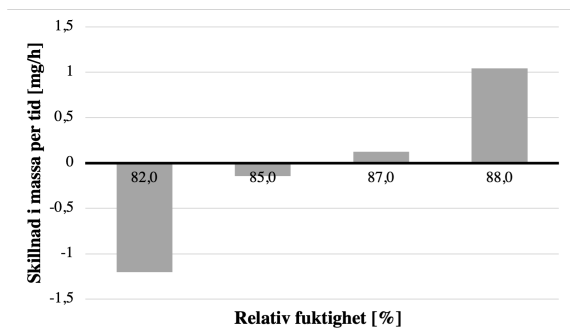
Figur D.12: Provkropp CC2.



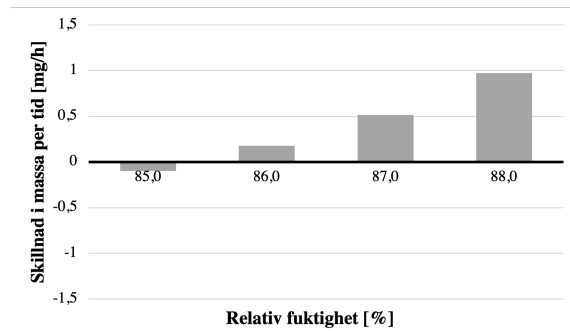
Figur D.13: Provkropp CC3.



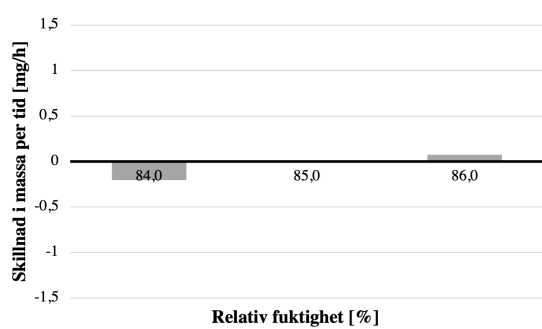
Figur D.14: Provkropp CC4.



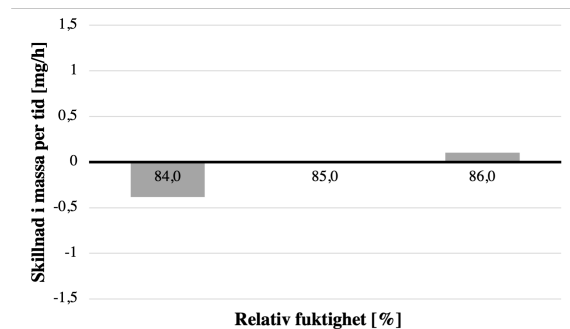
Figur D.15: Provkropp CD1.



Figur D.16: Provkropp CD2.



Figur D.17: Provkropp CD3.



Figur D.18: Provkropp CD4.

Tabell D.1: Sammanställning av estimerad RF för cylindriska provkroppar.

Provkropp	Estimerad RF [%]
CA1	90,5
CA2	90,5
CA3	89,5
CA4	90,5
CA5	90,0
CB1	92,0
CB2	91,5
CB3	90,5
CB4	91,5
CB7	91,3
CC1	83,0
CC2	79,0
CC3	81,0
CC4	83,0
CD1	86,0
CD2	85,5
CD3	85,0
CD4	85,0

I tabell D.2 och D.3 visas mätdata för när de uttagna proven från de olika provkropparna placerades i fuktgeneratoren. Uttagna prov betecknades t.ex. P2-1, där P står för prov, 2 står för att provet togs från den andra halvcylindern och 1 betecknar att det var det första provet som exponerades.

Tabell D.2: Mätdata för tester utförda på provkroppar CA och CB. (Betongrecept 38B)

Provkropp	Delprov	RF [%]	Massa start [gram]	Massa slut [gram]	Massa skillnad [gram]	Tid [timmar]
CA1	P1-1	91	47,038	47,040	0,002	3,92
	P1-2	90	41,790	41,793	0,003	12,42
	P1-3	89	46,790	46,784	-0,006	0,92
	P2-1	92	35,763	35,764	0,001	2,42
	P2-2	90	40,432	40,429	-0,003	1,37
CA2	P1-1	90	56,875	56,874	-0,001	1,92
	P1-2	91	58,167	58,173	0,006	4,18
	P2-1	89	56,726	56,720	-0,006	11,25
	P2-2	92	33,637	33,640	0,003	2,83
CA3	P1-1	91	44,526	44,529	0,003	2,33
	P1-2	90	40,334	40,334	0,000	2,00
	P1-3	89	40,334	40,334	0,000	2,00
	P1-4	89	64,239	64,235	-0,004	2,58
	P2-1	90	64,522	64,524	0,002	11,75
CA4	P1-1	89	39,169	39,167	-0,002	1,80
	P1-2	91	42,427	42,429	0,002	1,92
	P2-1	90	49,337	49,335	-0,002	1,92
CA5	P1-1	89	69,948	69,945	-0,003	2,00
	P1-2	91	42,575	42,578	0,003	4,35
	P2-1	90	49,714	49,714	0,000	11,67
	P2-2	88	49,714	49,713	-0,001	1,00
CB1	P1-1	88	47,235	47,226	-0,009	2,00
	P1-2	90	33,498	33,496	-0,002	1,00
	P1-3	92	27,495	27,495	0,000	1,00
	P1-4	93	30,514	30,514	0,000	1,33
	P2-1	94	56,323	56,328	0,005	1,33
	P2-2	91	35,728	35,727	-0,001	1,00
	P2-3	93	35,727	35,744	0,017	13,00
CB2	P1-1	90	56,052	56,050	-0,002	2,00
	P1-2	91	79,815	79,811	-0,004	0,88
	P1-3	93	62,370	62,377	0,007	2,00
	P2-1	92	62,435	62,441	0,006	2,35
CB3	P1-1	90	44,971	44,968	-0,003	2,75
	P1-2	92	63,302	63,305	0,003	2,45
	P1-3	91	57,532	57,535	0,003	6,70
CB4	P1-1	90	68,148	68,142	-0,006	1,33
	P1-2	91	57,467	57,466	-0,001	1,17
	P1-3	92	57,466	57,468	0,002	1,50
	P1-4	92	83,861	83,861	0,000	1,17
	P2-1	92	36,181	36,182	0,001	1,58
	P2-2	93	36,182	36,185	0,003	1,33
	P2-3	91	47,542	47,547	0,005	14,67
CB5	P1-1	89,5	40,942	40,935	-0,007	1
	P1-2	91	71,557	71,553	-0,004	1,50
	P1-3	93	70,804	70,809	0,005	1,50
	P1-4	92	42,829	42,830	0,001	1,00
	P1-5	91,5	61,362	61,365	0,003	2,83
	P2-1	91,5	85,486	85,501	0,015	14,83
	P2-2	91	47,259	47,253	-0,006	1,00
	P2-3	92	47,106	47,106	0,000	1,17

Tabell D.3: Mätdata för tester utförda på provkroppar CC och CD. (Betongrecept 38BS)

Provkropp	Delprov	RF [%]	Massa start [gram]	Massa slut [gram]	Massa skillnad [gram]	Tid [timmar]
CC1	P1-1	83	35,235	35,235	0,000	2,75
	P1-2	86	35,235	35,237	0,002	2,50
	P1-3	85	44,560	44,563	0,003	5,67
	P2-1	82	56,281	56,280	-0,001	11,25
	P2-2	80	56,280	56,280	0,000	0,92
	P2-3	75	56,280	56,274	-0,006	4,83
	P2-4	84	46,414	46,416	0,002	7,92
	P2-5	83	62,854	62,854	0,000	14,67
CC2	P1-1	84	32,67	32,677	0,007	28,83
	P1-2	82	59,889	59,895	0,006	13,08
	P1-3	80	27,714	27,716	0,002	55,83
	P1-4	78	42,243	42,241	-0,002	16,25
CC3	P1-1	85	66,749	66,751	0,002	2,08
	P1-2	80	34,795	34,793	-0,002	4,17
	P1-3	84	27,588	27,590	0,002	4,00
	P1-4	82	40,862	40,863	0,001	14,22
CC4	P1-1	84	43,868	43,869	0,001	4,92
	P1-2	80	40,099	40,097	-0,002	3,15
	P2-1	82	47,695	47,694	-0,001	15,67
CD1	P1-1	82	33,719	33,713	-0,006	5
	P1-2	85	40,979	40,976	-0,003	20,83
	P1-3	87	45,748	45,751	0,003	23,92
	P1-4	88	37,793	37,795	0,002	1,92
CD2	P1-1	85	28,243	28,242	-0,001	10,1
	P1-2	88	60,240	60,244	0,004	4,10
	P1-3	87	30,573	30,575	0,002	3,88
	P1-4	86	58,885	58,886	0,001	5,60
CD3	P1-1	86	49,906	49,907	0,001	9,67
	P1-2	85	74,146	74,146	0,000	5,83
	P1-3	84	66,63	66,627	-0,003	7,83
CD4	P1-1	86	28,484	28,485	0,001	13,33
	P1-2	84	44,254	44,252	-0,002	9,78
	P1-3	85	45,206	45,206	0,000	11,53