

# **Mögelanalys, fuktmodellering och bestämning av fuktegenskaper med avjämningsmassa över cTrap**

John Sonestedt

Kristoffer Svensson

ISRN: LUTVDG/TVBM—16/5104—SE  
ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola  
Byggnadsmaterial  
Box 118  
221 00 Lund

[www.byggnadsmaterial.lth.se](http://www.byggnadsmaterial.lth.se)

## Förord

Detta examensarbete är utfört på Civilingenjörsprogrammet inom Väg- och Vattenbyggnad på Lunds Tekniska Högskola, LTH. Arbetet är utfört på avdelningen Byggnadsmaterial och är ett till största delen ett försöksbaserat arbete. Examensarbetet är genomfört efter en önskan av företaget cTrap att undersöka deras nyligen framtagna emissionsspärr för mögelpåväxt vid applicering under en avjämningsmassa. John Sonestedt och Kristoffer Svensson har utfört arbetet med Magnus Åhs som handledare, Sanne Johansson som biträdande handledare och Peter Johansson som examinator.

Vi vill tacka Magnus Åhs och Sanne Johansson för all hjälp och feedback under arbetets gång samt Stefan Backe för hjälp med allt praktiskt i samband med de försök som har genomförts. Vi vill också tacka övrig personal på avdelningen Byggnadsmaterial som har varit till hjälp under vårt arbete.

Lund, april 2016

John Sonestedt & Kristoffer Svensson



# Sammanfattning

<b>Titel:</b>	Mögelanalys, fuktmodellering och bestämning av fuktegenskaper med avjämningsmassa över cTrap
<b>Författare:</b>	John Sonestedt Kristoffer Svensson
<b>Examinator:</b>	Peter Johansson
<b>Handledare:</b>	Magnus Åhs
<b>Biträdande handledare:</b>	Sanne Johansson
<b>Problemställning:</b>	Är cTrap benägen för mögelpåväxt om den appliceras under en avjämningsmassa?  Vilka fuktegenskaper har de ingående materialen?  Hur påverkar en plastfolie mellan cTrap och betonggolvs uttorkningen av avjämningsmassan?  Kan en fuktmodell beskriva uttorkningsförloppet för konstruktionen?

Under arbetet har en ny emissionsspärr, cTrap undersökts. cTrap appliceras för att förbättra inomhusluften genom att enkelsidigt absorbera önskade biprodukter från byggnadsdelar. cTrap har testats angående dess mögelresistens vid ingjutning mellan en avjämningsmassa och ett betongbjälklag.

Totalt har tolv stycken provkroppar gjutits med olika tjocklekar, vilket ger olika förutsättningar för mögelpåväxt. Under hälften av provkropparna användes en fuktspärr och med olika tjocklekar på avjämningsmassan genererades olika fuktbelastningar med tiden. cTrap ympades med mögelsporer för att säkerställa att förutsättningar för mögelpåväxt fanns.

Under de 13 veckor som testerna genomfördes följdes uttorkningsförloppen i avjämningsmassan med två metoder för mätning av den relativa fuktigheten, RF. För att mäta RF i avjämningsmassan användes branschstandardens uttaget prov som är framtagen av Golvbranschen, GBR. För mätning av RF i nivå med cTrap användes förmonterade RF-givare av typen Vaisala. De uppmätta värdena för RF jämfördes sedan mot en fuktmodell med icke-stationär fukttransport för att se om förloppet överensstämde.

Eftersom fuktegenskaperna för avjämningsmassorna var okända var de tvungna att bestämmas för att kunna simulera uttorkningen. Med en sorptionsvåg bestämdes sorptionsisotermen tillsammans med fukttransportskoefficienten. För att uppskatta fukttransportskoefficienten användes också den konventionella metoden koppförsök.

Resultaten från mögeltesterna visade att cTrap i flera provkroppar möglat vid de testade förhållandena under avjämningsmassan. Med ökad tjocklek följde en ökad fuktbelastning, vilket gav en mer etablerad mögeltillväxt. Uttorkningstiden för avjämningsmassan var i försöket utdragna och det var mycket fuktigt i flera provkroppar, även efter 13 veckors torktid i inomhusklimatet med 20 °C och 50 % RF. Vid mätningen av fuktegenskaperna framkom det goda resultat som användes i en fuktmodell. Fuktmodellen uppvisade liknande trender för uttorkningsförloppet av avjämningsmassorna, men uttorkningstiden var avvikande.



## Abstract

<b>Title:</b>	Mould analysis, moisture modeling and determination of moisture properties of SLC over cTrap
<b>Authors:</b>	John Sonestedt Kristoffer Svensson
<b>Examiner:</b>	Peter Johansson
<b>Supervisor:</b>	Magnus Åhs
<b>Deputy supervisor:</b>	Sanne Johansson
<b>Question formulation:</b>	Is cTrap prone to mould growth if applied during a SLC? What moisture properties are the constituent materials? How does a plastic foil between cTrap and a floor of concrete effect the dehydration process of the SLC? Can a moisture model describe the dehydration process for the construction?

During several weeks a new emission barrier, cTrap was tested for its ability to withstand mould growth when placed between a concrete slab and a layer of self-levelling flooring compound, SLC.

A total of twelve SLC slabs were casted with two different types of SLC and with different thickness and basis. Half of the SLC slabs had a vapour barrier placed between the basis of concrete and cTrap. The different thicknesses in addition to the moisture barrier generated different moisture levels over time. With different conditions created with the thickness and basis, cTrap was put in several different environments for mould to grow in.

During the 13 weeks of trial the moisture was measured with two different methods for determining the relative humidity, RH for cTrap and the SLC. The methods used in these test have previously been evaluated and used by certified professionals. With Vaisala probes the RH in level with the cTrap is measured. For measuring the RH in the SLC, the Swedish Flooring Trade Association (GBR) have a method called "Extracted sample". The measurements from "Extracted Sample" are then compared to a model for moisture transport which fits the drying process of the SLC. The model used for the drying process is of a non-stationary kind.

Because the moisture properties of the used SLC were unknown these were also determined. The sorption isotherm was determined for both the SLC and cTrap by using a sorption balance equipment. The moisture transfer coefficients were also determined with this equipment and compared to the more common cup method.

The results of the tests on cTrap showed that the cTrap is subject to mould growth in the conditions under the SLC. Increased thickness gives more moisture and a more established mould growth. The measurements showed that the SLC had a long drying process to reach acceptable relative moisture levels, and in the case of 40 mm thickness it didn't reach these levels under the test period. A difference between the two types of SLC used showed that the SLC labelled "Normal" dried more over long term than the one labelled "Quick drying".

The moisture properties of the materials had been determined and showed good results and they were therefore used in the moisture model to evaluate the drying process. When the measurements were compared to results of the model a similar trend occurred but the model did not show the same level of drying as the measurements. This can be due to the fact that the model did not take in consideration all the circumstances that occur in the casted slabs.





# Innehåll

1	Inledning.....	1
1.1	Frågeställning .....	1
1.2	Avgränsningar .....	2
2	Fukt.....	3
2.1	Fukt i luft.....	3
2.2	Fukt i material .....	3
2.2.1	Uttorkning .....	5
2.3	Fukttransport .....	8
3	Mögel i inomhusmiljö .....	9
4	Mätosäkerheter vid RF-mätning.....	13
5	Försök.....	15
5.1	Material .....	15
5.1.1	cTrap.....	15
5.1.2	Avjämningsmassor .....	16
5.2	Tillverkning av provkroppar för RF-mätning och mögelanalys.....	16
5.2.1	Provgjutning .....	17
5.2.2	Ympning med spörlösning .....	18
5.2.3	Gjutning.....	20
5.2.4	Avvikelser vid tillverkning av provkroppar .....	21
5.3	Fuktmätning.....	21
5.3.1	RF-givare.....	21
5.3.2	Mätning RF-givare i mätthål .....	22
5.3.3	Mätning av RF på uttaget prov .....	23
5.4	Bestämning av fuktegenskaper.....	26
5.4.1	Bestämning av sorptionsisoterm.....	26
5.4.2	Bestämning av fukttransportkoefficient med koppförsök och sorptionsvåg .....	29
5.5	Mögelanalys .....	34
5.5.1	Bedömning av mögelpåväxt .....	35
6	Fuktmodellering .....	39
6.1	Simulering av uttorkning av avjämningsmassa .....	40
6.1.1	Resultat fuktmodellering .....	40
7	Resultat och diskussion .....	43
7.1	Fuktmätning.....	43
7.1.1	Ingjuten RF-givare.....	43
7.1.2	Uttaget prov .....	44
7.1.3	Reflektion kring fuktmätning .....	47

7.2	Materialens fuktegenskaper.....	47
7.2.1	Sorptionsisotermer.....	47
7.2.2	Fuktransportkoefficient .....	49
7.3	Mögelpåväxt.....	50
8	Slutsats.....	53
9	Förslag till fortsatt forskning .....	55
10	Referenser.....	57
11	Bilaga.....	59

# 1 Inledning

Fukt kan medföra ökade emissioner från material och kan skapa förutsättningar som mögel och bakterier trivs och kan växa i [1]. Mögel orsakar bland annat emissioner som kan påverka hälsan [2]. Av denna anledning bör byggnadsdelar tillverkas av material som tål den aktuella fuktbelastningen i konstruktionen så att fuktskador förhindras. Vid projektering av nya byggnader är det därför mycket viktigt att ta hänsyn till de fuktbelastningar som en byggnadsdel kan utsättas för och på så vis undvika fuktskador.

För att kvantifiera problemet med fukt gjorde Boverket 2009 på uppdrag av regeringen en inventering av det svenska byggnadsbeståndet [1]. Undersökningar visar att 30 % av alla svenska byggnader har någon form av problem relaterade till mögel, mögellukt eller hög fuktnivå som påverkar inomhusmiljön. I samma undersökning visades att vissa hälsobesvär var betydligt vanligare i bostäder som hade haft eller hade skador orsakade av mögel och/eller fukt. Återställandet av skador på det svenska byggnadsbeståndet i hänseende av fuktproblematiken uppskattas kosta samhället 55-89 miljarder kronor.

För att förbättra inomhusmiljön i byggnader där fuktskador redan uppstått som medfört emissionsproblem finns det åtgärder att vidta utan att behöva göra stora ingrepp på konstruktionen. En sådan åtgärd kan vara att installera en emissionsspärr som hindrar emissioner från en byggnadsdel att ta sig in i inomhusmiljön.

I detta arbete har en ny emissionsspärr, cTrap undersökts för att se om den är benägen för mögelpåväxt om den läggs på ett betonggolv och sedan begjuts med en avjämningsmassa. Risken för mögelpåväxt är stor eftersom fuktbelastningen är hög under den fuktiga avjämningsmassan. Genom att variera tjockleken på avjämningsmassan kommer fuktbelastningen för cTrapen variera i de olika provkropparna.

Emissionsspärren cTrap är framtagen genom forskning gjord på Lunds Universitet av Prof. Lennart Larsson. cTrap fångar upp föroreningar som kan orsaka ett dåligt inomhusklimat. Som exempel kan nämnas förtvålningssprodukter från golvlim, fenoler, TXIB, kloranisoler och andra illaluktande ämnen. Forskning på cTrap visar att 98 % skadliga emissioner adsorberas [3]. Adsorptionen är därmed mycket effektiv och kan ses som ett alternativ till dagens produkter för åtgärder av inomhusproblem. cTrap uppnår detta och är samtidigt helt fri från kemikalier och risken för urlakning är därmed obefintlig [4].

I arbetet kommer de ingående materialens fuktegenskaper bestämmas med sorptionsvåg och kopptester. Uttorkningsförloppet i gjutna provkroppar av avjämningsmassa med cTrap har följts med två metoder för fuktmätning, uttaget prov och ingjuten RF-givare. En fuktmodell för icke-stationär uttorkning utförs med framtagna fuktegenskaper och resultatet från beräkningar av uttorkningen och fuktbelastningen har jämförts med de utförda mätningarna i provkropparna.

I en tidigare undersökning har cTraps ånggenomgångsmotstånd bestämt [5]. Ånggenomgångsmotståndet är ca 200 s/m vilket är väldigt lågt och kommer därmed endast bidra med ett extra fuktmotstånd som är försumbart om detta används i samband med avjämningsmassa och betong. Anledningen är att både avjämningsmassor och betong har ett mycket högre ånggenomgångsmotstånd.

## 1.1 Frågeställning

- Är cTrap benägen för mögelpåväxt om den appliceras under en avjämningsmassa?
- Vilka fuktegenskaper har de ingående materialen?
- Hur påverkar en plastfolie mellan cTrap och betonggolv uttorkningen av avjämningsmassan?
- Kan en fuktmodell beskriva uttorkningsförloppet för konstruktionen?

## **1.2 Avgränsningar**

För mätningar av relativ fuktighet i avjämningsmassan kommer inte korrigering av mätosäkerhet enligt gällande branschstandard att utföras.

Endast två olika typer avjämningsmassa ingår i studien.

## 2 Fukt

Fukt förekommer i våra byggnader och kommer från fukt i luft, markfukt, nederbörd, läckage med mera. Fukt ger förutsättningar för nedbrytningsprocesser som inte är önskvärda i konstruktioner och i vår innemiljö [6]. Hur fukt påverkar våra byggnadsmaterial är av stort intresse för att bygga fuktsäkra konstruktioner.

### 2.1 Fukt i luft

Det omgivande klimatet har stor betydelse för hur mycket fukt ett material tar upp. Fukt förekommer i luft i form av vattenånga. Mängden fukt i luft brukar anges som ånghalt i gram per kubikmeter,  $\text{g/m}^3$ . Mättnadsånghalten är den maximala mängd vatten som luften kan hålla utan att kondens fäller ut på materialytor vid en given temperatur. Mättnadsånghalten är starkt varierande med luftens temperatur och ökar med stigande temperatur [6].

Hur fuktigt det är i luften kan anges som relativ fuktighet, RF,  $\varphi$  i ekvation (1).

$$\varphi = \frac{v}{v_s} \quad (1)$$

där,  $v$  representerar aktuell ånghalt [ $\text{g/m}^3$ ] och  $v_s$  representerar mättnadsånghalten [ $\text{g/m}^3$ ] [6].

Fuktproblem kan i många fall relateras till en hög RF. Vilken RF som medför problem är olika för olika material. Begreppet kritisk RF syftar därför till att definiera den nivå då risk för skada är hög för ett visst material [6].

### 2.2 Fukt i material

Fukt i material förekommer antingen som förångningsbart vatten eller som icke förångningsbart vatten. Till förångningsbart vatten räknas fritt vatten, kapillärt upptaget vatten samt adsorberat vatten. Det vatten som inte är förångningsbart är kemiskt bundet, vilket tillhör ett materials torra struktur. Om kemiskt bundet vatten försvinner från ett material förstörs materialets struktur [6]. Hur mycket förångningsbart vatten som finns i ett material beskrivs med fuktkvot,  $u$  eller fukthalt,  $w$ .

Fuktkvoten beräknas enligt ekvation (2).

$$u = \frac{m_w}{m_0} \quad (2)$$

där  $m_w$  är massan förångningsbart vatten [kg] och  $m_0$  den torra massan [kg].

Fukthalten beräknas enligt ekvation (3).

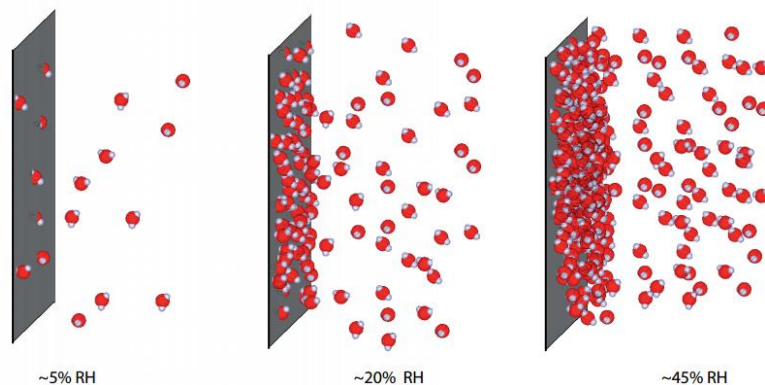
$$w = \frac{m_w}{V} \quad (3)$$

där  $V$  är volymen för kroppen [ $\text{m}^3$ ].

I material binds fukt antingen genom fysikaliska eller kemiska reaktioner. De fysikaliska fenomenen kan delas upp i två olika mekanismer, adsorption och kapillärkondensation. Fukt som tas upp av ett material direkt från omgivande klimat brukar benämnas som hygroskopisk fukt [6]. När omgivningen är fuktigare än 98 % RF sker fuktbindning i det överhygroskopiska området. De kemiska fenomenen beskrivs närmare i 2.2.1 Uttorkning.

#### *Adsorption*

Adsorption är när vattenmolekyler attraheras på inre materialytor [7], se Figur 1. De inre materialytorna utgörs av ytan hos de porer som förekommer i materialets struktur. Eftersom den inre ytan ibland är betydligt mycket större än den yttre ytan spelar adsorption en stor roll för fuktupptagningen [6]. Adsorption sker redan vid låg RF och med en ökande RF attraheras fler vattenmolekyler vilket innebär att vatteninnehållet i ett material ökar.



Figur 1. Vattenmolekyler som adsorberas till en plan yta vid olika luftfuktigheter från lägre till högre RH (vänster till höger) [8].

### Kapillärkondensation

När fuktigheten stiger i luften bildas det vattenytor på porväggarna i materialet även om ånghalten i luften i porerna är lägre än mättnadsånghalten [7]. Där de inre materialytorna möts eller är parallella med andra materialytor kan konkava menisker bildas och fler molekyler attraheras vilket benämns kapillärkondensation. Vid vilken RH som kapillärkondensation kan inträffa beskrivs med Thomsons formel, ekvation (4) [7].

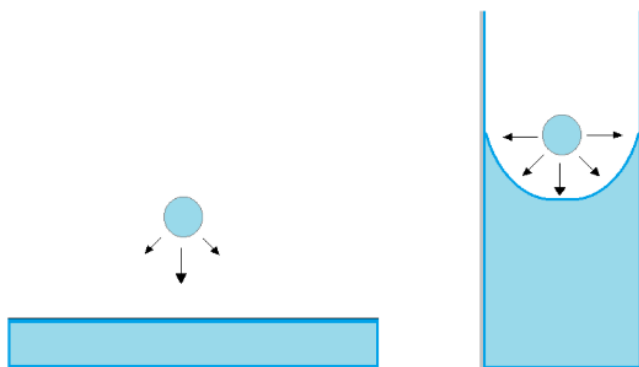
$$\varphi = e^{-k} \quad (4)$$

där  $k$  beräknas med ekvation (5),

$$k = \frac{2\sigma}{r} \cdot \frac{M_v}{\rho_w RT} \quad (5)$$

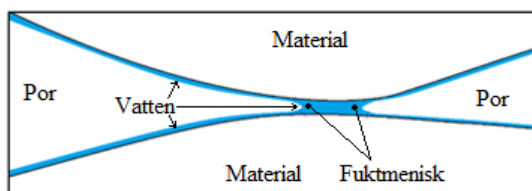
där  $\varphi$  representerar relativ fuktighet [-],  $\sigma$  ytspänning [N/m],  $r$  porradien [m],  $M_v$  molmassa för vatten [kg/mol],  $\rho_w$  densitet för vatten [kg/m<sup>3</sup>],  $R$  allmänna gaskonstanten [J/(mol·K)] och  $T$  temperaturen [K].

Små porer i materialet har små krökningsradier som genererar större kapillära krafter än krökningsraden hos större porer. En plan yta har enligt Thomsons formel en obegränsad krökningsradie som inte ger några kapillära krafter vilket illustreras i Figur 2.



Figur 2. Plan yta har en oändlig krökningsradie och därmed inga kapillära krafter. Ett smalt rör har en liten krökningsradie och därmed större kapillära krafter [7].

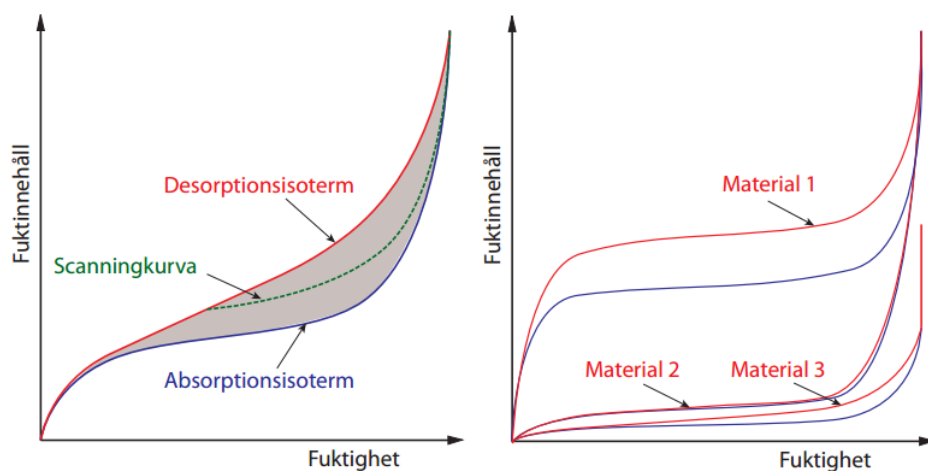
Det är de större krafterna i små porer som bildar de konkava ytor som attraherar vattenmolekylerna och bildar fuktmenisker vilket illustreras i Figur 3 [6].



Figur 3. Kapillärkondensation i sammanhängande por som bildar en fuktmenisk [7].

### Sorptionsisoterm

I en sorptionsisoterm visas hur fukttinnehållet för ett material varierar vid olika RF [6]. Fukttinnehållet redovisas med fukthalten eller fuktkvoten på y-axeln och RF på x-axeln. Figur 4 visar sorptionsisotermen för ett material respektive tre olika material [6].



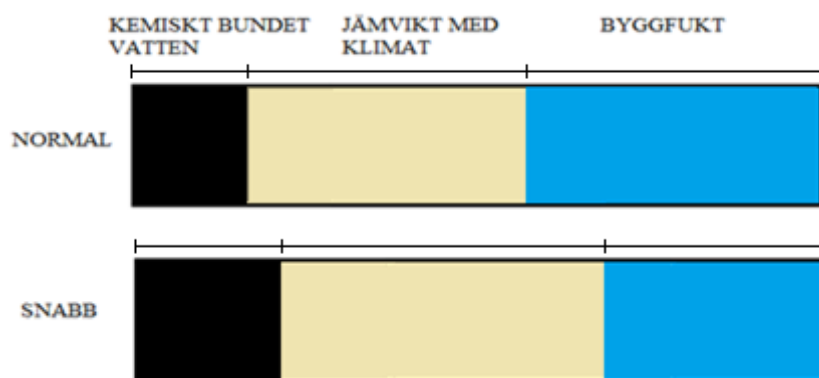
Figur 4. Till vänster: Sorptionsisoterm för ett material. Till höger: Sorptionsisotermen för tre olika material [8].

- Desorptionsisoterm** Visar fukttinnehållet i ett material som torkar ut från ett vattenmättat tillstånd till en viss fuktighet.
- Absorptionsisoterm** Visar fukttinnehållet i ett material som fuktas upp från ett torrt tillstånd till en viss fuktighet.
- Scanningkurva** Befinner sig materialet i exempelvis uppfuktning och sedan börjar torka ut följer fukttinnehållet en övergång från absorption till desorption.
- Hysteres** När absorptionsisotermen och desorptionsisotermen är separerade i något fuktområde så uppvisar materialet hysteres [6].

Fukttinnehållet kan variera mycket mellan olika material som befinner sig i samma RF, se höger i Figur 4. Materialets struktur och uppbyggnad är avgörande för utseendet på sorptionskurvan.

### 2.2.1 Uttorkning

Vid blandning av en avjämningsmassa tillförs stora mängder vatten för härdningen, och större delen av fukten kommer avgå till omgivningen när avjämningsmassan torkar. En mindre del av fukten som tillsätts kommer att bindas kemiskt i materialet. Fukt som behöver avgå för att materialet ska komma i jämvikt med omgivningen benämns byggfukt. Den principiella fördelningen mellan olika typer av fukt i en snabbtorkande och normaltorkande avjämningsmassa visas i Figur 5 [7].



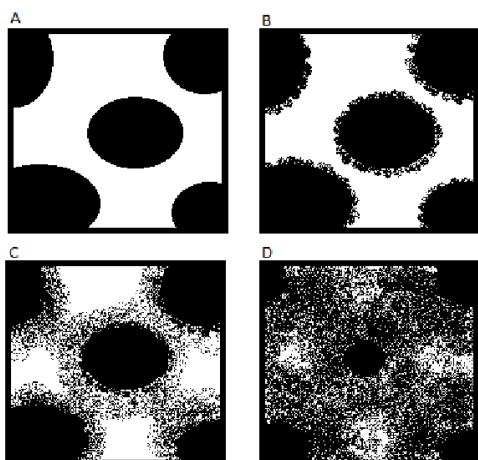
Figur 5. Principiell fördelning mellan kemiskt bundet vatten, fukt som blir kvar vid jämvikt med omgivande klimat respektive fukt som kommer att avgå till omgivningen (byggfukt) för normaltorkande samt snabbtorkande avjämningsmassa [7].

När avjämningsmassa härdar reagerar det inblandade vattnet kemiskt med bindemedlet [9]. Detta kan beskrivas genom en förenklad reaktionsformel.



Cementgelen omger cementkornen och allteftersom fylls hålrummen allt mer av denna cementgel. Gelen fyller dock inte alla hålrum utan det bildas kapillärporer där inte gelen fyller ut. Dessa kapillärporer är mycket större än porerna i cementgelen. De blir också fler ju större förhållandet är mellan blandningsvatten och bindemedel [6].

Reaktion mellan bindemedlet cement och vatten bildar en finporös cementgel och kallas för hydratation [6], se Figur 6.



Figur 6. Reaktion mellan cement och vatten (hydratation) [6]. Det svarta representerar cementkorn. A) Direkt efter blandning innan hydration har börjat. B) Efter några minuter när vattnet reagerar med cement på kornens yta. C) Hydratationen har gått så långt att det skapas bindningar mellan olika korn. D) Efter några månader är hydratationen långt gången och det mesta av hålrummen mellan cementkornen är fyllt av cementgel.

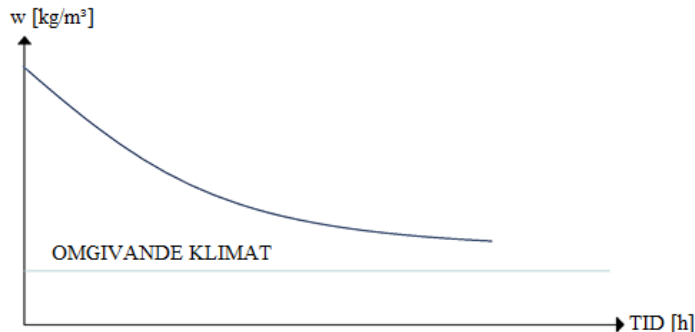
Förhållandet mellan andelen inblandat vatten och andelen bindemedel redovisas i form av avjämningsmassans vattenbindemedelstal,  $vbt$  och beräknas med ekvation (6).

$$vbt = \frac{w}{B} \quad (6)$$

där  $w$  är mängden inblandat vatten [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] och  $B$  är mängden bindemedel i avjämningsmassan [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] [6].

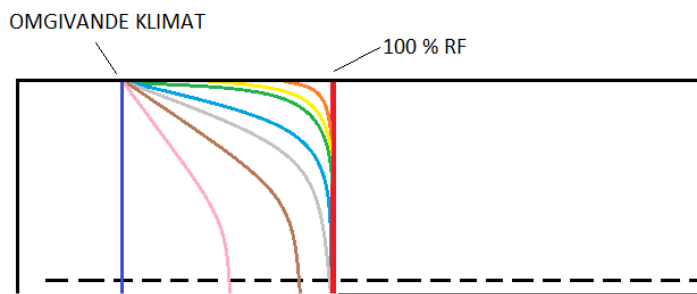


Den kemiska bindningen av vatten sker tidigt inom första dygnet och sänker RF med någon enstaka procentenhet. Under de första timmarna avgår fukt från den vattenyta som bildats av blandningsvattnet. När avjämningsmassan sedan härdar efter första dygnet blir den inre fukttransporten avgörande för uttorkningen [7]. Illustreras uttorkningen i ett diagram med medelfukthalten på y-axeln och tid på x-axeln fås ett principiellt uttorkningsförlopp enligt Figur 7.



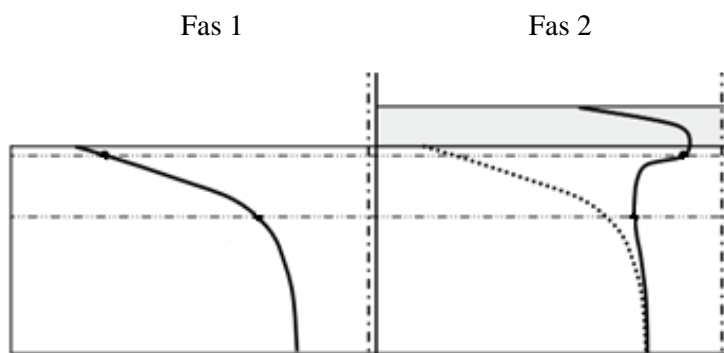
Figur 7. Principskiss för uttorkning av byggfukt för ett cementbaserat material [7].

Ett materials uttorkning kan illustreras genom att följa RF-profilens utveckling med tiden. Utan hänsyn till kemisk uttorkning ser ett uttorkningsförlopp med en RF-profil ut som i Figur 8. Fukten i nivå med fuktspärren (streckad) i Figur 8 måste transporteras genom hela tjockleken innan det kan lämna materialet. Det tar i regel lång tid för fukt att transporteras i avjämningsmassor, vilket resulterar i långa uttorkningsförlopp vid tjockare avjämningsmassor [10].



Figur 8. Principskiss för ensidig uttorkning av fukt (streckad linje visar fuktspärr).

Appliceras avjämningsmassan på ett tätt underlag kan fukten enbart torka uppåt, s.k. ensidig uttorkning. Har man ett underlag som kan medge ett fuktutbyte med avjämningsmassan, till exempel ett betonggolvs, får man ett annat förlopp. I [8] beskrivs förloppet när en avjämningsmassa applicerats på ett uttorkat betonggolvs utan mellanliggande fuktspärr vilket också visas kvalitativt i Figur 9.



Figur 9. Fuktomfördelning vid pågjutning av avjämningsmassa på betong. Första fasen är ursprunglig RF-profil för betongen, i fas 2 gjuts en avjämningsmassa på det befintliga betongunderlaget [8].

I fas 1 ses fuktprofilen för ett betongbjälklag som delvis torkat ut. När en avjämningsmassa appliceras i fas 2 är den fuktig och den torrare betongen kommer att fuktas upp. Avjämningsmassan torkar ut snabbt vid ytan och fukttransport sker då både uppåt och nedåt till en början, vilket ses i den förändrade fuktprofilen. Fukttransporten nedåt medför en sänkning av RF i avjämningsmassan som sker snabbare än om en fuktspärr hade funnits mellan avjämningsmassan och betongen.

### 2.3 Fukttransport

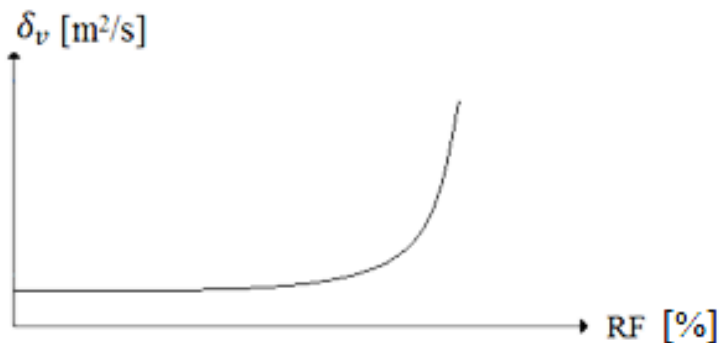
Fukt kan transporteras antingen i ångfas eller vätskefas [7]. I ångfas transporteras fukt genom konvektion eller diffusion. I vätskefas sker transporten genom porvattenundertryck eller vätsketransport i porsystemet. Vid uttorkning av fukt i en avjämningsmassa sker fukttransporten genom både diffusion och vätsketransport i porsystemet. Fukttransport genom konvektion förekommer inte i täta avjämningsmassor. Vid låga RF är transport i ångfas avgörande. Vid stigande RF börjar porerna i porsystemet fyllas med flytande vatten. Då sker fukttransporten i kapilläerna i vätskefas under inflytande av porvattenundertrycket.

Fukttransporten i ett material beskrivs med fuktflödet,  $g$  i Ficks lag, ekvation (7) [11].

$$g = -\delta_v \cdot \frac{dv}{dx} \quad (7)$$

där  $\delta_v$  är fukttransportskoefficienten [ $\text{m}^2/\text{s}$ ],  $v$  är ånghalt [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] och  $x$  är tjockleken [ $\text{m}$ ].

Med ökande fukthalt i materialet fås en ökad fukttransport vilket principiellt visas i Figur 10



Figur 10. Med ökat fukttinnehåll ökar fukttransporten i materialet

Har materialet en bestämd tjocklek,  $L$  [ $\text{m}$ ] används i många fall ånggenomgångsmotståndet,  $Z$  som bestäms enligt ekvation (8) [7].

$$Z = \frac{L}{\delta_v} \quad (8)$$

Det förenklar beräkningar när flera motstånd adderas. Utöver motstånd inom ett material förekommer också övergångsmotstånd när fukttransporten byter medium, som från luft till material. Motstånden är ett ånggenomgångsmotstånd och kan enkelt tas med i beräkning [7]. Vid fukttransport genom flera skikt och ånggenomgångsmotstånd adderas dessa ihop och flödet kan då beskrivas med ekvation (9).

$$g = \frac{v_2 - v_1}{\sum Z} \quad (9)$$

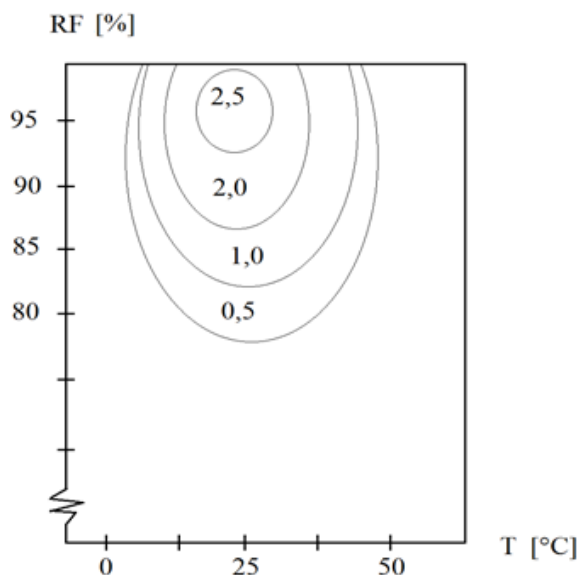
### 3 Mögel i inomhusmiljö

Mögelsvampar är ett samlingsnamn på mikroskopiska svampar med arter framförallt från divisionen sporsäcksvampar (ascomycota), som huvudsakligen lever på att bryta ner dött organiskt material [2]. Mögelsvampar kan påverka inomhusmiljön och människan negativt genom att bland annat avge flyktiga organiska föreningar, mykotoxiner, proteiner samt  $\beta$ -(1,3)-D-glukaner [12]. Det finns olika arter av mögel som producerar olika ämnen. Samma arter av mögel kan också producera olika ämnen beroende på vilket material de lever på, vilken relativ fuktighet och temperatur som råder samt vilka andra arter som finns närvarande [13]. Mögelsvampar kan producera olika flyktiga organiska föreningar, kallade MVOC (microbial volatile organic compounds) och kan orsaka missfärgningar, lukt eller hälsoproblem.

I [2] beskrivs mykotoxiner som ämnen som kan leda till olika negativa effekter för hälsan. Vissa toxiner kan orsaka förgiftning och andra kan vara cancerogena. Det är dock ingen som vet vad effekterna är för att utsättas för de små koncentrationer som råder i byggnader som utsatts för mögelangrepp. Proteinerna som mögelsvampar avger är de som i vissa fall kan orsaka allergiska reaktioner och  $\beta$ -(1,3)-D-glukaner kan utlösa inflammatoriska reaktioner [12].

Enligt [13] är ofta tillgången till fukt det mest kritiska för att mögel ska kunna leva. Utöver tillgången av fukt så är även tillgången till näring och gynnsam temperatur betydande för att mögelkolonier ska kunna bildas [2]. Enligt [2] måste också de gynnsamma förhållandena råda under tillräckligt lång tid för att tillväxten ska ske. Mögelsporer finns i luften överallt och detta gör att om det rådande klimatet för mögeltillväxt är lämpligt på en plats med näring så kommer tillväxt att ske [13].

Om temperaturen är optimal (olika för olika mögelarter) så krävs mindre vattentillgång för mögeltillväxt än vid en temperatur som skiljer sig från den optimala [13]. Sambandet mellan temperatur, RF och mögeltillväxt kan illustreras med en mögelarts isopleter för tillväxthastighet. I Figur 11 visas ett exempel på en isoplet som visar hur tillväxthastigheten är beroende på både temperaturen och RF.



Figur 11. En isoplet för en typ av mögelsvamp. Värden i varje isoplet anges tillväxthastighet [mm<sup>-1</sup>] [13].

Enligt [2] finns det generella riktlinjer som säger att under 75 % RF finns det ingen risk för att mögelpåväxt kan ske i byggnader. Är RF mellan 75-85 % är risken liten, för RF 85-95 % är risken medelstor och är RF över 95 % är risken hög för mögelpåväxt. Det finns mögelsvampar som klarar av att växa vid så låga RF-nivåer som 61 %. Dessa kräver dock mycket lättåtkomlig näring som inte finns i byggnadsmaterial.

Många olika mögelsvampar kan förekomma i byggnader. Det är ett mindre antal svampar som är mer vanligt förekommande [2]. Exempel på dessa är *Trichoderma spp.*, *Aspergillus spp.*, *Cladosporium spp.* och *Penicillium spp.*. De nämnda mögelsläktena beskrivs nedan tillsammans med arten *Aspergillus niger* enligt [2]. I beskrivningen nedan listas de också utifrån om de är primära, sekundära eller tertiära kolonisatörer. Primära kolonisatörer kan växa under 80 % RF, sekundära kolonisatörer kan växa mellan 80-90 % RF och tertiära kolonisatörer kräver minst 90 % RF för att kunna växa [12]. Flera av de mögelsvampar som beskrivs nedan är också saprotrofa mögelsvampar, vilket betyder att de bryter ned dött organiskt material.

### **Primära kolonisatörer**

- Aspergillus spp.* Vanligt förekommande mögelsläkte som även kallas för Borstmögel. Flertalet arter inom släktet producerar mykotoxiner. Mögelsvampen växer bäst vid 80-90 % RF och en temperatur på 25-35 °C och hittas ofta i samband med fuktskador.
- Penicillium spp.* Vid fuktskador är *Penicillium* ofta den mest dominerande mögelsvampen. Släktet är också mycket vanlig på organiska produkter i hemmet som på frukter, sophinkar, i blomkrukor o.s.v. Flera arter inom släktet kan också producera mykotoxiner.
- Aspergillus niger (art)* *Aspergillus niger* är en av de mögelarter inom släktet *Aspergillus* som är lättast att hitta och vanligast förekommande [14]. Denna art producerar mykotoxiner [12].

### **Sekundära kolonisatörer**

- Cladosporium spp.* Är saprotrof och är mycket vanlig på växter utomhus (saprotrof) under stora delar av året. Svampen tycker om stora variationer i luftfuktighet. Luftfuktigheten behöver därmed inte vara konstant hög för att *Cladosporium* ska trivas. Tillväxt av mögelsvampen inomhus sker oftast på kondensytor t.ex. vindar, sovrums, badrum m.m. med anledning av den varierande fuktigheten.

### **Tertiära kolonisatörer**

- Trichoderma spp.* Släktet består av många snabbväxande mögelarter. Arter inom *Trichoderma* förekommer ofta utomhus på växter och ruttet virke (saprotrof). De kräver rik tillgång på vatten och förekommer därför ofta där vattenskador uppkommit. Tillväxt kan ske på endast ett fåtal dagar eller veckor om förhållandena är gynnsamma.

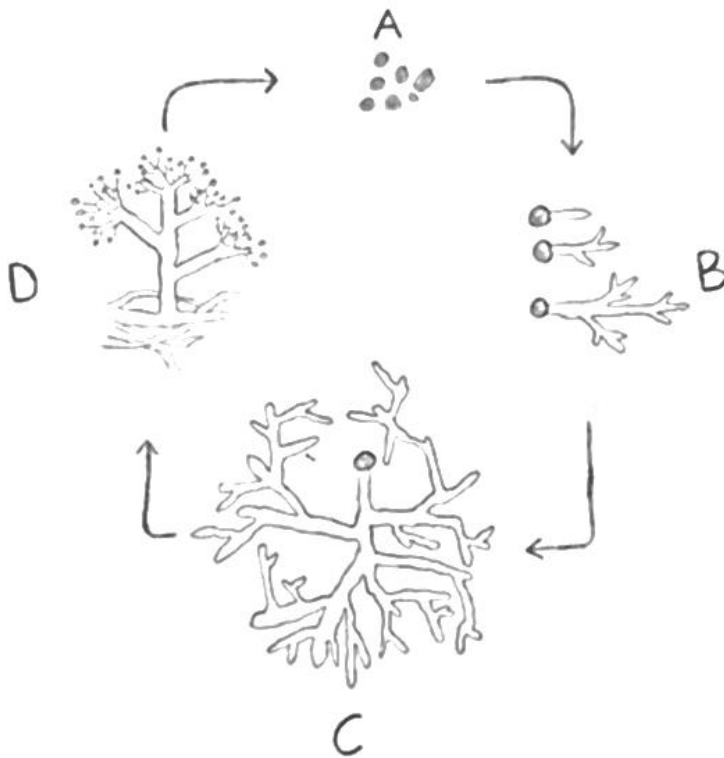
I Figur 12 visas de olika mögelsvamparna.



Figur 12. Odling av mögelsvampar. 1: *Trichoderma sp.* 2: *Aspergillus sp.* 3: *Cladosporium sp.* 4: *Penicillium sp.* 5: *Aspergillus niger*.

Mögel förökar sig genom att svampens konidioforer producerar sporer (konidier). Sporerne frigörs och transporteras med luftströmmar till nya platser. Under gynnsamma förhållanden växer hyfer ur dessa

sporer. Hyferna växer sig större och större och när de är tillräckligt stora bildar de ett nätverk som kallas mycel. Utifrån vissa hyfer bildas konidioforer, vilka bildar sporer som kan spridas till fler ställen. Aktiviteten i mögelsvampen sker i hyferna [13]. Denna procedur som sker i fyra faser redovisas översiktligt i Figur 13.

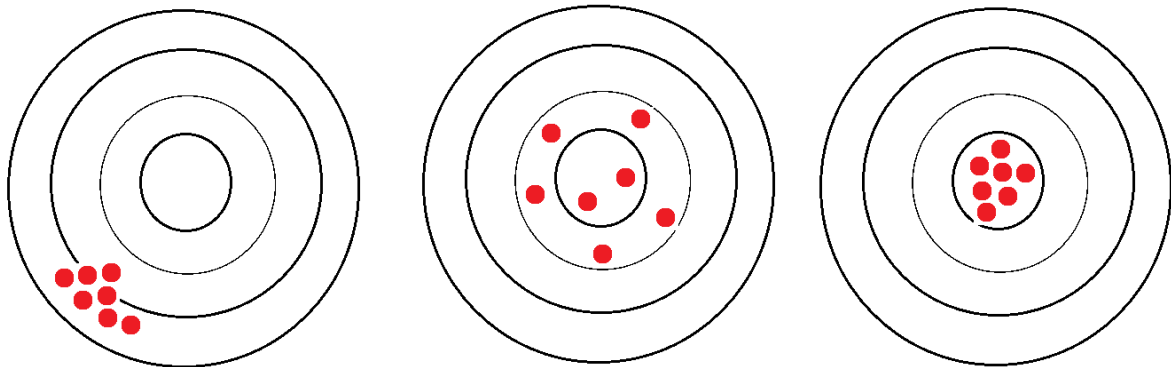


Figur 13. Bilden visar hur spridning och tillväxt sker för mögelsvampar. Det börjar med sporer (A). Utifrån dessa växer hyfer (B). När dessa har växt till sig växer de ihop och skapar ett mycel (C). Utifrån vissa hyfer bildas konidioforer (D). Från dessa släpps nya sporer till luften som kan växa på nytt [13].



## 4 Mätosäkerheter vid RF-mätning

I det här arbetet förekommer det mätningar av bland annat relativ fuktighet [RF] på två olika sätt, dels mätning av RF i cTrap och dels uttaget prov. Mätning av RF i avjämningsmassa kommer att göras enligt branschstandard, GBR, [15]. Metoden uttag av prov används för mätning i avjämningsmassan och mätning av RF vid cTrap kommer att göras med metoden RF-givare monterad i mätbehåll [16]. Dessa mätningar sker med instrument som har en viss mätosäkerhet och även andra osäkerheter förekommer kring själv mätningen. I varje mätning, inte bara vid RF-mätning uppkommer alltså osäkerheter som bör behandlas för att ge en realistisk bild av mätosäkerheten för den använda mätmetoden. Om prover ska vägas eller fukt mäts kommer det vara svårt att mäta det sanna värdet. Varje mätning blir en approximation av det verkliga tillståndet. En mätning kan jämföras med en skytt och dennes måltavla. Hur bra skytten är på att skjuta följer principen vid en mätning av något slag. I Figur 14 redovisas hur resultaten kan se ut för tre olika mätningar och förklaras enligt [17].



Figur 14. Mätning representerad av måltavla [17]. Till vänster: Hög precision, låg noggrannhet. I mitten: Låg precision, hög noggrannhet. Till höger: Hög precision, hög noggrannhet.

Den första mätningen som kan ses till vänster i Figur 14 har samlade träffar vilket motsvarar en mätning med hög precision. Eftersom träffarna är långt från det sanna värdet (centrum) har mätningen däremot en låg noggrannhet. I den andra mätningen är träffarna spridda men nära det sanna värdet vilket är låg precision men hög noggrannhet. Det mest optimala av fallen är när träffarna både har hög precision och hög noggrannhet, vilket illustreras till höger i Figur 14. I försöken används flera mätmetoder och det är viktigt att vara medveten om vilka felkällor som finns för respektive mätmetod. I många fall kan de nämligen korrigeras för att ge ett bättre mätvärde.

Översiktligt kan mätfel delas upp i tre kategorier, *grova fel*, *systematiska fel* och *slumpmässiga fel* vilka beskrivs nedan [17].

### *Grova fel*

De grova mätfelen beror på yttre faktorer kring mätningen. De anses vara den vanligast förekommande typen av fel vid en mätning. Grova fel kan hänföras till den mänskliga faktorn och arbetsmiljön. Feltolkningar, underlåtenhetsfel och fel i mätutrustning är exempel på vanliga grova fel. Det kan vara fel mättdjup, slarvig hantering av instrument och felavläsning eller tolkning av resultat. Grova mätfel kan inte justeras med några metoder utan måste förebyggas med kunskap och rutiner.

### *Systematiska fel*

Att det vid mätning sker systematiska fel beror på parametrar som återkommer och påverkar mätresultatet. Ett exempel på ett systematiskt fel vid RF-mätning är temperaturavvikelser, som påverkar mätresultatet. Om systematiska fel inte kan korrigeras blir mätvärden missvisande. Är sambandet mellan resultatet och felkällan känt kan systematiska fel

korrigeras, vilket är mätningar med låg noggrannhet men hög precision se Figur [14].

### *Slumpmässiga fel*

Slumpmässiga fel ger upphov till spridningar i mätresultat som i många fall beror på slumpen. Man kan inte hänföra dem till en viss parameter. Att hantera slumpmässiga fel görs därför med s.k. standardavvikelser. I sådant fall får matematiken vara ett verktyg för att korrigera för variationer och utvärdera mätresultaten.



## 5 Försök

I det här kapitlet beskrivs de olika material som har undersökts och de olika försök som har genomförts. Provkroppar för mätning av uttorkning och mögellanalys har tillverkats med två olika avjämningsmassor och med underliggande cTrap. Avjämningsmassornas fukttransportkoefficienter bestämdes genom koppförsök samt med sorptionsvåg. Försök med sorptionsvågen utfördes även för att bestämma sorptionsisotermen för cTrap samt avjämningsmassorna.

### 5.1 Material

De material som har undersökts är cTrap och två olika typer av avjämningsmassor.

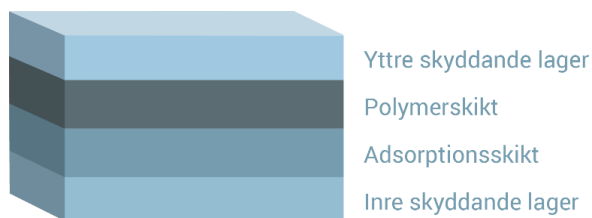
#### 5.1.1 cTrap

cTrap är en emissionsspärr vars syfte är att adsorbera emissioner och därmed minska föroreningar till inomhusluften från byggnadsdelar. cTrap är en tunn duk som levereras på rulle, se Figur 15. Enligt lägningsanvisningarna för cTrap skall cTrap-duken hållas torr både före och efter att den har installerats [18].



Figur 15. Produkten cTrap levereras på rulle [4].

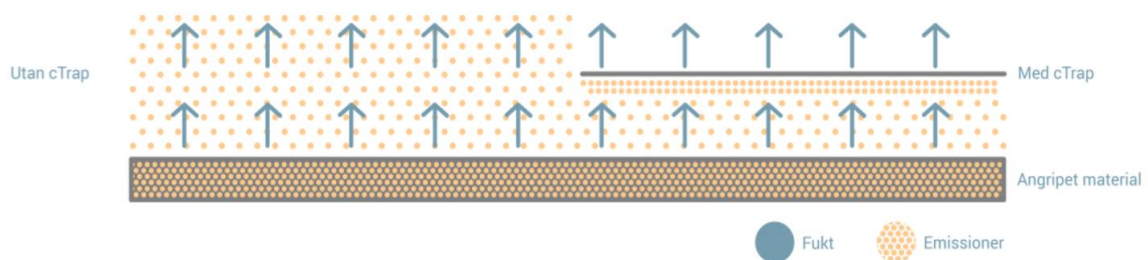
cTrap är uppbyggd av fyra olika skikt, se Figur 16.



Figur 16. Genomskäring som visar uppbyggnaden av cTrap [1].

Ovanifrån sett är det först ett yttre skyddande lager, sedan ett polymerskikt som förstärker den adsorberande effekten hos det tredje skiktet som är ett adsorptionsskikt av aktivt kol. Det sista skiktet är ett inre skyddande lager som ligger mot befintlig konstruktion, det inre skyddande lagret består av en fiberduk och ska ligga mot den skadade byggnadsdelen [4].

cTrap adsorberar emissioner men släpper igenom vattenånga, se Figur 17.



Figur 17. Illustration av hur cTrap fungerar med avseende på emissioner och fukt [4].

Med ett mycket lågt ånggenomgångsmotstånd ( $Z=200$  s/m) påverkar cTrap i regel inte fukttransporten nämnvärt för en sammansatt konstruktion. Ånggenomgångsmotståndet är uppmätt av Wadsö [5].

### 5.1.2 Avjämningsmassor

Två avjämningsmassor har använts i det här arbetet. Den ena avjämningsmassan är en normaltorkande avjämningsmassa (weber.floor 140 Nova) och den andra är en snabbtorkande avjämningsmassa (weber.floor 120 Reno). De båda avjämningsmassornas egenskaper har flera likheter t.ex. att de är lågalkaliska och har låga egenemissioner [19] [20]. Fuktegenskaperna för de ingående avjämningsmassorna är inte kända. Produkterna beskrivs nedan enligt [20] och [19]. De är också båda två P-märkta och uppfyller AMA Hus krav för avjämningsmassor och är registrerade i Basta och godkända av Byggvarubedömningen, BVB.

#### *Innehåll*

Båda avjämningsmassorna är fiberförstärkta och beskrivs som fuktstadestabila samt slagg- och kaseinfria. Avjämningsmassorna innehåller bindemedlet aluminatcement som ger en betydligt snabbare hållfasthetsutveckling än portlandcement. Redan efter ett dygn har det mesta av hållfastheten uppnåtts [6].

Innehållet i den normaltorkande avjämningsmassan redovisas i Tabell 1 [21]. Andelen tillsatsmedel är inte redovisat av tillverkaren.

Tabell 1. Innehåll i normaltorkande avjämningsmassa.

Material	Ämnen	Vikt-%
<b>Ballast</b>	Kvartshaltig natursand	30-60
<b>Filler</b>	Kalkstensmjöl	25-50
<b>Bindemedel</b>	Aluminatcement	10-20
<b>Bindemedel</b>	Gips	5-15
<b>Polymerbindemedel</b>	PVAC sampolymer	0,1-5
<b>Tillsatsmedel</b>	-	-

Vad den snabbtorkande avjämningsmassan innehåller redovisas i Tabell 2 [22]. Andelen tillsatsmedel är inte redovisat från tillverkaren.

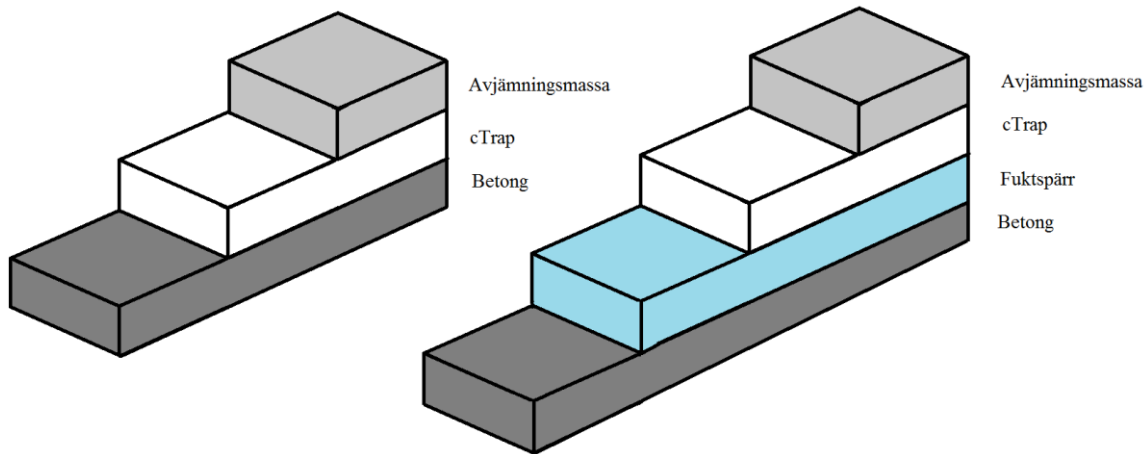
Tabell 2. Innehåll i snabbtorkande avjämningsmassa.

Material	Ämnen	Vikt-%
<b>Ballast</b>	Kvartshaltig natursand	30-60
<b>Filler</b>	Kalkstensmjöl	10-25
<b>Bindemedel</b>	Aluminatcement	10-20
<b>Bindemedel</b>	Gips	5-15
<b>Bindemedel</b>	Portlandcement	2-5
<b>Polymerbindemedel</b>	PVAC sampolymer	0,1-5
<b>Tillsatsmedel</b>	-	-

## 5.2 Tillverkning av provkroppar för RF-mätning och mögelanalys

Provkropparna göts i syfte att undersöka mögelpåväxten på cTrap, samt avjämningsmassornas uttorkningsförlopp. Provkropparna göts som kvadrater  $1 \times 1$  m<sup>2</sup> på två olika underlag. Totalt tolv provkroppar tillverkades och sex stycken göts med en normaltorkande avjämningsmassa och sex stycken med en snabbtorkande avjämningsmassa. Hälften av alla provkroppar göts mot cTrap med en underliggande fuktspärr (PE-folie). Den andra hälften av provkroppar göts mot cTrap, som lades direkt på en fräst betongyta, se Figur 18. PE-folien användes för att ge en varierad fuktbelastning hos

provkropparna, och då efterlikna ett fall där betongytan är fuktig. Avjämningsmassan göts i olika tjocklekar på cTrap, också i syfte att ge olika fuktbelastningar genom att ge olika långa uttorkningsförlopp.



Figur 18. Principiell uppbyggnad av konstruktion.

För att undersöka benägenheten för mögelpåväxt på cTrap under en avjämningsmassa ympades halva ytan av varje provkropp med mögelsporer. I försöket kan man då försäkra sig om att halva cTrapens yta var kontaminerad med sporer. Provkropparna benämns enligt Tabell 3.

Tabell 3. Provfördelning och benämning.

<b>Konstruktion</b>	<b>15 mm</b>	<b>25 mm</b>	<b>40 mm</b>
Normaltorkande avjämningsmassa	15N	25N	40N
Fuktspär + normaltorkande avjämningsmassa	P15N	P25N	P40N
Snabbtorkande avjämningsmassa	15S	25S	40S
Fuktspär + snabbtorkande avjämningsmassa	P15S	P25S	P40S

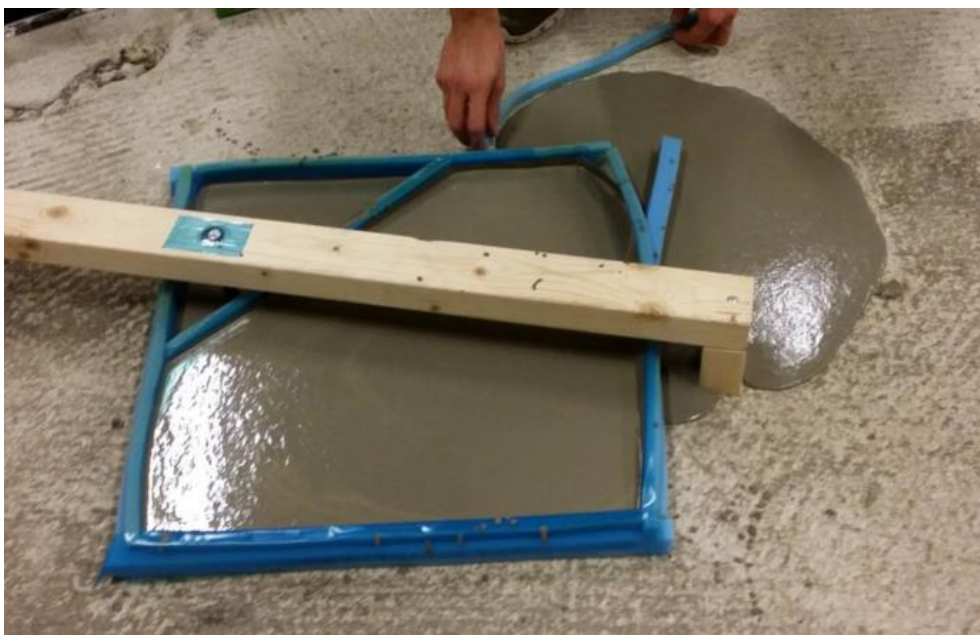
### 5.2.1 Provgjutning

Inför gjutningen av alla provkroppar utfördes en mindre provgjutning för att kontrollera om avstängningslisten tätade mot det frästa betongunderlaget. Som ses i Figur 19 testas en mindre form i en liten gjutning. Testet utfördes med normaltorkande avjämningsmassa.



Figur 19. Form för provgjutning med mätrör för RF-givare.

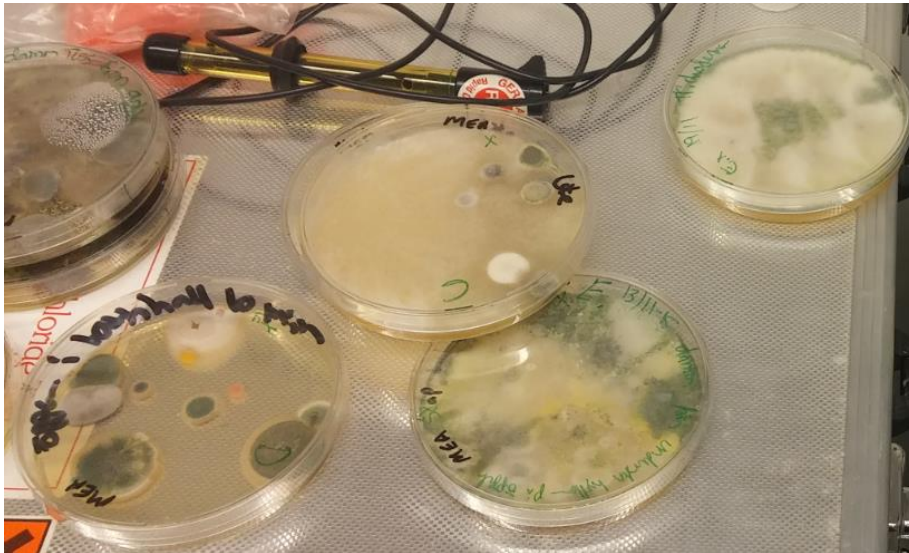
När avjämningsmassa hälldes i formen visade det sig att formen var otät vilket fick följden att avstängningslisten lossnade, se Figur 20. Formens konstruktion kompletterades för att undvika läckage vid gjutning av övriga provkroppar. För att undvika läckaget fogades en latexfog mellan avstängningslisten och underlaget.



Figur 20. Formen gick isär vid provgjutning.

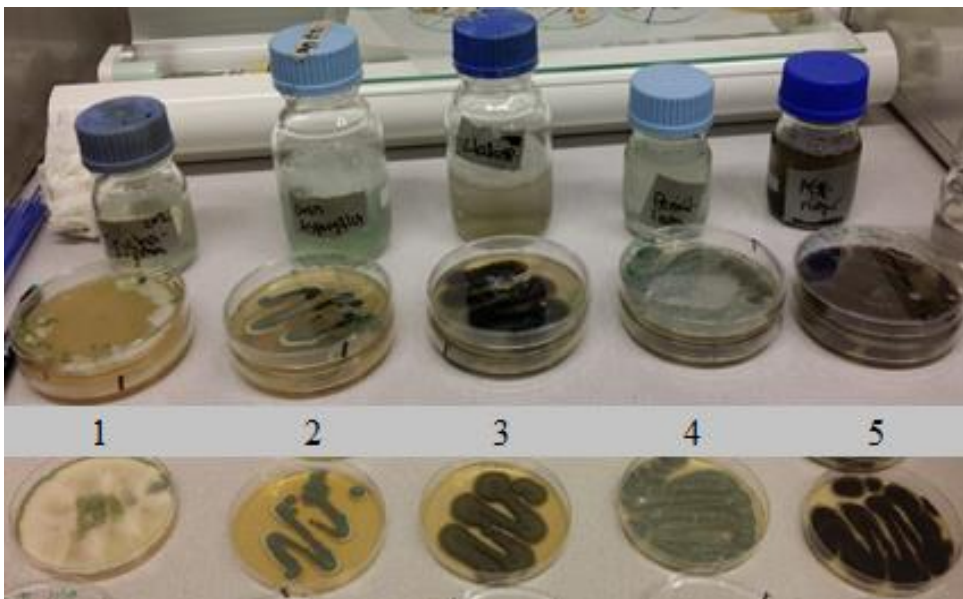
### 5.2.2 Ympning med spörlösning

En spörlösning tillverkades för ympning med olika typer av mögelsporer. Odlingar placerades ut i lokaler i V-huset på LTH där sporer från inomhusmiljön fastnade och började växa. Odlingarna sattes sedan i en klimatkammare för att optimera tillväxten. Efter fem dagar syntes en tydlig mögelpåväxt av förekommande mögel, se Figur 21.



Figur 21. Odling av naturligt förekommande mögelsporer i V-huset.

Fem olika mögelsvampar identifierades och separerades för användning tillverknig av sporlösning för ympning, se Figur 22. Mögelsvamparna var *Trichoderma sp.*, (Grön) *Aspergillus sp.*, *Cladosporium sp.*, *Penicillium sp.* samt *Aspergillus niger*, vilka beskrivits närmare i kapitel 3 Mögel i inomhusmiljön.



Figur 22. Odling av separerade mögelsvampar och lösning med mögelsporer och vatten. 1: *Trichoderma sp.* 2: *Aspergillus sp.* 3: *Cladosporium sp.* 4: *Penicillium sp.* 5: *Aspergillus niger*.

När odlingarna hade växt till sig extraherades mögelsporer från odlingen och blandades i en lösning med destillerat och steriliserat vatten till en sporlösning. Sporlösning kan ses i Figur 22. Mögelsporer som i vissa fall är hydrofoba löste sig dåligt i vatten. För att lösningen skulle bli homogen tillsattes en liten mängd av tween (lösningssmedel) [23]. Innan ympningen av cTrap blandades de olika mögellösningarna med varandra till en enda lösning.

För att kontrollera att tillräckligt mycket mögelsporer fanns i sporlösningen räknades antalet sporer med en haemocytometer, vilket är en glasskiva med ett ingraverat rutsystem. Antal sporer räknades på rutmönstret under ett mikroskop. Ett täckglas placerades över haemocytometern. I skarven mellan de två glasen fördes 10  $\mu$ l av sporlösningen in. Medelantalet sporer per 1 mm<sup>2</sup> stor ruta på haemocytometern multipliceras med 10<sup>3</sup> för att få koncentrationen per ml sporlösning [23].

När cTrap sedan ympades appliceras den blandade spörlösningen med hjälp av en pensel, se Figur 23. Ympning gjordes över halva cTrapens yta.



Figur 23. Ympning av mögelsporer på cTrap med pensel.

### 5.2.3 Gjutning

Provkropparna göts i ett av V-husets klimatrum på LTH där temperatur och RF har loggats, resultatet från loggningen redovisas i Bilaga. Innan gjutningen rengjordes underlaget från organiskt material och annan smuts genom sopning och dammsugning. cTrap rullades ut med den luddiga sidan uppåt och skars sedan ut med rätt mått för provkropparna. Mellan cTrap och betongytan lades en PE-folie för hälften av provkropparna.

Blandning av avjämningsmassa gjordes med en propellervis monterad på en bormaskin. För varje 20 kg pulver (en säck) tillsattes 4,2 liter vatten för den normaltorkande avjämningsmassan och 3,6 liter vatten för den snabbtorkande avjämningsmassan. Blandning gjordes under totalt två minuter. Temperaturen för härdning bör ligga inom intervallet 10-25 °C vilket var uppfyllt vid gjutningen [19] [20] Vattenbindemedelstalet beräknades för de avjämningsmassor som används i gjutningen [6].

#### *Normaltorkande avjämningsmassa*

Massan vatten,  $W$  är 4,2 kg per 20 kg pulver avjämningsmassa. Massan bindemedel,  $B$  är inte känd men andelen ligger mellan 15,1 % och 40 % av avjämningsmassan. Vilket ger ett uppskattat  $vbt = 0,525-1,391$ .

#### *Snabbtorkande avjämningsmassa*

Massan vatten,  $W$  är 3,6 kg per 20 kg pulver avjämningsmassa. Massan bindemedel,  $B$  är inte känd men andelen ligger mellan 17,1 % och 45 % av avjämningsmassan. Vilket ger ett uppskattat  $vbt = 0,467-1,228$ .

Gjutningen delades upp i två stycken etapper, en för varje typ av avjämningsmassa. Under första etappen göts provkroppar av normaltorkande avjämningsmassa. Blandning gjordes i ett stort kärl där tre säckar torrbruk blandades åt gången. Bilder från gjutningen visas i Figur 24. Som hjälpmedel användes hinkar, murslev, tumstock, bormaskin, propellervis, egentillverkad ränna och våg.



Figur 24. Till vänster visas blandad avjämningsmassa i stort kärl. Till höger bearbetas ytan med en murslev innan gjutningens tjocklek kontrolleras.

Säckarna blandades med en uppvägd massa vatten enligt tillverkarens anvisning, beskriven ovan. Först hölls  $\frac{3}{4}$  av vattnet ner i kärlet och under vispning blandades allt pulver ner i kärlet. När massan blivit ordentligt blandad och inga klumpar återstod hölls resterande mängd vatten i och ytterligare blandning gjordes. Avjämningsmassan hölls i provkropparna via en ränna i mitten av formen. Den jämnades sedan ut med murslev till en jämn tjocklek vilket mättes med en tumstock. När gjutningen vägdes av och hade en jämn tjocklek ( $\pm 2$  mm) över sex kontrollerade punkter ansågs gjutningen vara godkänd. Samma rutin följdes vid gjutning av självuttorkande avjämningsmassa.

#### 5.2.4 Avvikelser vid tillverkning av provkroppar

I samband med gjutning av provkroppar noterades en del avvikelser.

Kantresning	Vid uttorkning reste sig kanterna på ett par av de tunnare provkropparna.
Variерande tjocklek	Alla proverna hade inte en homogen tjocklek utan den varierade utanför det accepterade intervallet.
Olika satser	Mer än en blandningssats användes för samma provkropp i ett fåtal fall.

### 5.3 Fuktmätning

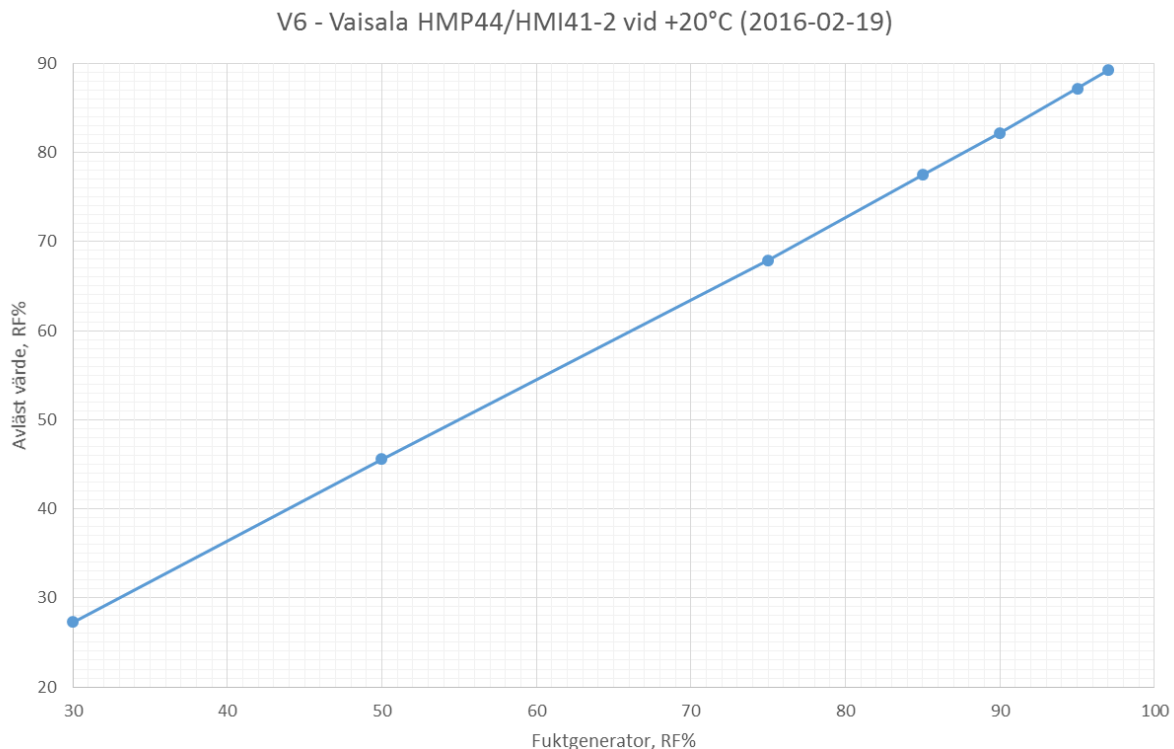
Fuktmätning har gjorts med RF-givare i mätåhl och uttaget prov. Mätning av RF som cTrap befinner sig i har gjorts med RF-givare i mätåhl. För att följa uttorkningen i avjämningsmassan har mätning med uttaget prov även genomförts.

#### 5.3.1 RF-givare

Vid båda metoderna för RF-mätning i detta arbete användes RF-givare. I metoden RF-givare i mätåhl användes RF-givare av fabrikatet Vaisala och i metoden uttaget prov användes RF-givare av fabrikatet Testo.

Vid mätning med RF-givare gäller oavsett fabrikat att givarna måste appliceras i den miljö de ska mäta så pass lång tid innan mätning att de har ställts i jämvikt med klimatet vid mätningstillfället. Alla givare har en viss fuktkapacitet och vid RF-mätning i provrör bör detta beaktas. Används ett för litet prov kan givaren visa ett för lågt RF-värde eftersom den tar upp fukt från provet. Utförs mätningen i stora provkroppar påverkar inte givaren fuktkapacitet resultatet.

De givare som används i försöken har kalibrerats i en kalibreringskammare. I en kalibreringskammare uppnås en väldigt exakt och känd RF-nivå som givaren placeras i. Avläsning görs på givare och jämförs med känd RF-nivå. Avläsningen sker vid ett flertal olika RF-nivåer t.ex. 30 %, 50 %, 75 %, 85 %, 90 %, 95 % och 97 % som ger en kalibreringskurva som visas i Figur 25. Det är avläst RF-värde hos givaren på y-axeln och korrekt RF-värde på x-axeln. Diagrammet används vid mätning där ett korrekt värde kan avläsas utifrån ett avläst värde. Kalibrering ska göras med jämna mellanrum för att säkerställa mätresultaten. I arbetet togs kalibreringsdiagrammen fram efter att mätningarna hade gjorts.

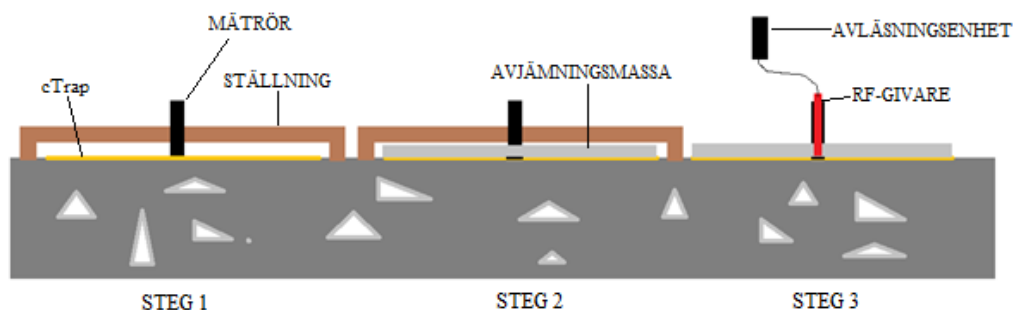


Figur 25. Exempel på ett kalibreringsdiagram för en Vaisalagivare.

### 5.3.2 Mätning RF-givare i mäthål

**Material:** RF-givare (Vaisala HMP 44), mätrör, tätningsplugg, avläsningsenhet (Vaisala HMI 41), monteringsställning, tejp.

**Förberedelse:** Monteringsförloppet redovisas i tre steg i Figur 26. Innan gjutning placerades en ställning som höll monteringsröret på plats vid gjutningen. Röret placerades så att botten låg emot underlaget, cTrap. En tätningsplugg monterades i rörets ovansida som försegling. En tejp applicerades ovanför röret för att hindra det från att lyfta på grund av trycket vid gjutning (steg 1). När avjämningsmassan uppnått beläggningsbar hållfasthet avlägsnades tejp och ställning. Röret kontrollerades så att inte avjämningsmassa läckt in eller smuts kommit ner i hålet (steg 2). Vid kontroll var mätrören rena och inget fritt vatten påträffades varvid Vaisalagivaren monterades (steg 3). Före montering hade RF-givarna förvarats i rumsklimat (RF= 30 %) och uppnått jämviktsläge med omgivningen.



Figur 26. Montering av mätrör till Vaisalagivare. Steg 1: Ställning med mätrör placerades över cTrap. Steg 2: Gjutning med avjämningsmassa gjordes. Steg 3: Ställning togs bort och RF-givare placerades i mätröret som kan kopplas till en avläsningsenhet.

**Rutin:** Efter att givaren monterades avlästes RF-nivån fem gånger i veckan i början av mätperioden (1-93 dygn) och därefter tre gånger i veckan. Avläsningen gjordes med



samma avläsningsenhet vid varje avläsning. I varje provkropp var RF-givaren monterad under hela försöksperioden.

### 5.3.2.1 Osäkerhet – RF-givare i mäthål

För fuktmätning med RF-givare förekommer systematiska fel och grova fel (orsaker till mätfel i provkropparna) som ska tas i beaktning vid utvärderingen av resultaten, se kapitel 4 [24].

<i>Kalibrerad RF</i>	Systematiskt fel – Avläsningsenheten visar inte korrekt RF utan måste jämföras med en kalibreringskurva. En kalibreringskurva tas fram genom en noga registrering av givarens olika utslag vid kända RF.
<i>Korr. för RF vid 20°C</i>	Systematiskt fel – När avläsning av RF sker vid annan temperatur än vid 20°C, vilket är standard att mäta RF vid, måste en korrektion göras.
<i>Ökad uttorkning</i>	cTrap kan medge eventuell uttorkning i sidled. Det frästa golvet ger ett ojämnt underlag som också kan ge en ökad uttorkning via luftläckage.
<i>Spricka</i>	En provkropp fick en spricka som gick från den ingjutna givaren ut till kanten.

### 5.3.3 Mätning av RF på uttaget prov

Vid bestämning av RF i avjämningsmassa har det visat sig att uttaget prov ger ett representativt värde av rådande RF [24]. Mätning av RF med uttaget prov kan göras enligt GBR branschstandard [15]. Metoden beskrivs nedan i korthet och finns återgiven i detalj hos [15].

Metoden går ut på att med hålsåg avlägsna ett prov i form av en cylinder från provkroppen. Efter borring ska provet läggas i plastpåse för att sedan krossas och förvaras i provrör. På provröret monteras en RF-givare (Testo) för avläsning av RF-nivån. Provet kräver snabb hantering för att minimera fuktutbyte med omgivningen innan förvaring i provrör.

#### *Provtagning*

*Utrustning:* Borrmaskin, kärnborr (innerdiameter 51 mm), dammsugare, provrör, skjutmått, ytermometer (IR), huggmejsel, hammare, plastpåsar, markeringspenna och RF-givare (Testo 605-H1).

*Förberedelse:* Protokoll förs med notering för starttid, mättid, temperatur hos prov före/efter borring och eventuella avvikelser. Tid mellan påbörjad borring tills det att provet förslutits i en tät plastpåse ska vara max, 40 s + 20s/10mm prov. Provet svalnar till rumstemperatur innan krossning. Under hela borringen dammsugs borrkax från borret. Borringen sker i intervall om 20 s åt gången innan rengöring av hålsåg med stålborste för att minimera värmeutvecklingen.

När provet ska krossas får tiden mellan påbörjad krossning tills att det ligger i ett förslutet provrör vara maximalt 90 sekunder. Kornstorleken ska maximalt vara 10 mm och provröret fylls till minst 2/3 och försluts sedan väl. Efter 24 timmar monterades en RF-givare (Testo). Provrören förvaras klimatstabil och efter att fuktjämvikt skett mellan luften i provröret och provet avläses RF-nivån med monterad RF-givare. I början av mätserien gjordes avläsningar av RF-nivån med jämna intervall. När RF-nivån stabiliserats antogs att jämvikt uppnåtts, vilket skedde efter 48 timmar, alltså 72 timmar efter förvaring i provrör.

Om flera prov ska tas ska inte de tas för nära redan borrade hål eftersom viss uttorkning medges i sidled. Därför togs nya prov minst tre provtjocklekar från befintligt borrarat hål eller kant. Ett prov allt för nära ett annat hål skulle underskatta RF-nivån.

### *Provbit:*

Vid starten användes en mall för att hålla borret på plats under de första 20 sekunderna, se Figur 27. Borrning gjordes sedan konstant i 20 sekunder innan hålsågen och borrhålet rengjordes från borrhax. Efter ett par uttag fick borrhaxen minska till 15 sekunder eftersom borret fastnade p.g.a. borrhax. Rengöring av hålsågen gjordes mellan varje borrhaxintervall med hjälp av en stålborste. Under hela processen samlades borrhax upp med en dammsugare.



Figur 27. Borrning under de första 20 sekunderna med mall.

Vid borrning i provkropp med tjocklek på 40 mm kunde inte provet i sin helhet avlägsnas. Hålsågens djup var otillräckligt och därav fick provet huggas av med mejsel och slägga när djupet var cirka 25 mm se Figur 28. När borrningen var klar användes en liten skruvmejsel för att avlägsna provet. Yttertemperatur mättes med en IR-termometer och tjockleken registrerades med ett skjutmått. Under hela momentet mellan borrning tills att provet låg i en plastpåse användes handskar vid hantering av provet för att transpiration från händer inte skulle påverka provets fukttinhåll. Proven hade uppmätt yttertemperatur efter borrning mellan 40-55 C° vilket var högre än accepterat värde i rutinen där temperaturen ska understiga 35 C°. Hantering av prov efter borrning gick smidigt och snabbt, den totala tiden för förloppet överstegs då borrning tog lång tid.



Figur 28. Uttaget prov på 40 mm proven.

### *Krossning*

Krossning av provkropparna gjordes i plastpåse. De uttagna proven tilläts svalna i plastpåsen innan de krossades. Proven krossades sedan i plastpåsen med liten slägga och hälldes därefter ut på en PE-folie. Hela det krossade provet fick inte plats i provrören. Ett representativt urval gjordes av provets höjdprofil som lades i provrör inom 90 sekunder från påbörjad krossning till provröret. Provrören förslöts med gummikork och placerades i ett temperaturstabil rum.

*Testogivare* När proven konditionerats 24 timmar i provrören monterades Testogivare på provrören. Provrören fick stå i rummet 24 timmar innan första avläsningen. Efter första avläsningen fick proven stå ytterligare 48 timmar innan andra avläsningen. Skillnaden i avläst värde noterades och tiden för jämvikt uppskattades till 48 timmar i provröret. Avläsning för varje givare utfördes sedan efter 48 timmar. Avlästa värden omvandlades direkt efter kalibrerad RF-nivå för RF-givaren.

### **5.3.3.1 Osäkerheter vid mätning av RF på uttaget prov**

Försök att mäta RF med uttaget prov kommer medföra fel vid hantering av utrustning, prov och avläsning. GBR [15] har tagit fram en manual med mätrutiner för RF-mätning med uttaget prov. I manualen finns angivet hur hantering av osäkerheter ska göras. De fel som kan uppstå sammanställs och förklaras i korthet nedan för den trendmätning som gjorts och för uttag av prov.

<i>Kalibrerad RF</i>	Systematiskt fel – Avläsningsenheten visar inte korrekt RF utan måste jämföras med en kalibreringskurva. En kalibreringskurva tas fram genom en noga registrering av givarens olika utslag vid kända RF.
<i>Korr. för RF vid 20°C</i>	Systematiskt fel – När avläsning av RF sker vid annan temperatur än vid 20 °C, vilket är standard att mäta RF vid, måste en korrektion göras.
<i>Korr. p.g.a. fuktkapacitet</i>	Systematiskt fel – När givaren placeras i provröret tas en del fukt upp av sensorn. Det påverkar givetvis mängden fukt i röret och därmed RF.
<i>Korr. p.g.a. ej hel kärna</i>	Grovt fel – Om det uttagna provet inte inkluderar all massa måste RF-värdet kompenseras för den del som inte är med i mätningen. Normalt sett är detta endast aktuellt om den nedre delen fallit bort.
<i>Val av borrhål</i>	Grovt fel – Borrhål bör göras med tillräckligt långt avstånd från andra borrhål och provkroppens kanter för att förhindra att provet har torkat ut mer än vid en väl vald borrhål. Områden för nära andra borrhål och vid provkroppens kanter medger ökad uttorkning.

I samband med metoden uttag av prov noterades en del avvikelser som medför osäkerheter.

<i>Höga temperaturer</i>	Under borrhål översteg temperaturen godkända nivåer (35 °C) i samtliga fall. Det kan medföra ökad fuktavgång och en underskattat mätning av RF-nivån.
<i>Överstigen tidsgräns</i>	Den godkända tiden mellan påbörjad borrhål tills det att provet ligger i plastpåse överstegs i de flesta fall, ibland med flera minuter. Det kan medföra ökad fuktavgång och en underskattat mätning av RF-nivån.
<i>Hålsåg fastnade</i>	Borrhål medförde ökad värmeutveckling och att hålsågen fastnade. Det medförde ett varmare prov och längre tid för hantering av prov – se ovan.
<i>Delat prov</i>	40 mm prov kunde inte tas ut som hel kärna. Det medförde en ökad exponerad provyta som ger en högre fuktavgång vilket ger en underskattning av RF-nivån.
<i>Större hålsåg</i>	35 mm hålsåg hittades inte i butik. 51 mm hålsåg användes istället. Med större provkroppar blev provmängden stor vilket medförde ett urval av provbitar. Det ger större mätosäkerhet, framförallt vid torrare prov där en större skillnad i RF-nivå kan ses över provets tjocklek (RF-profil).

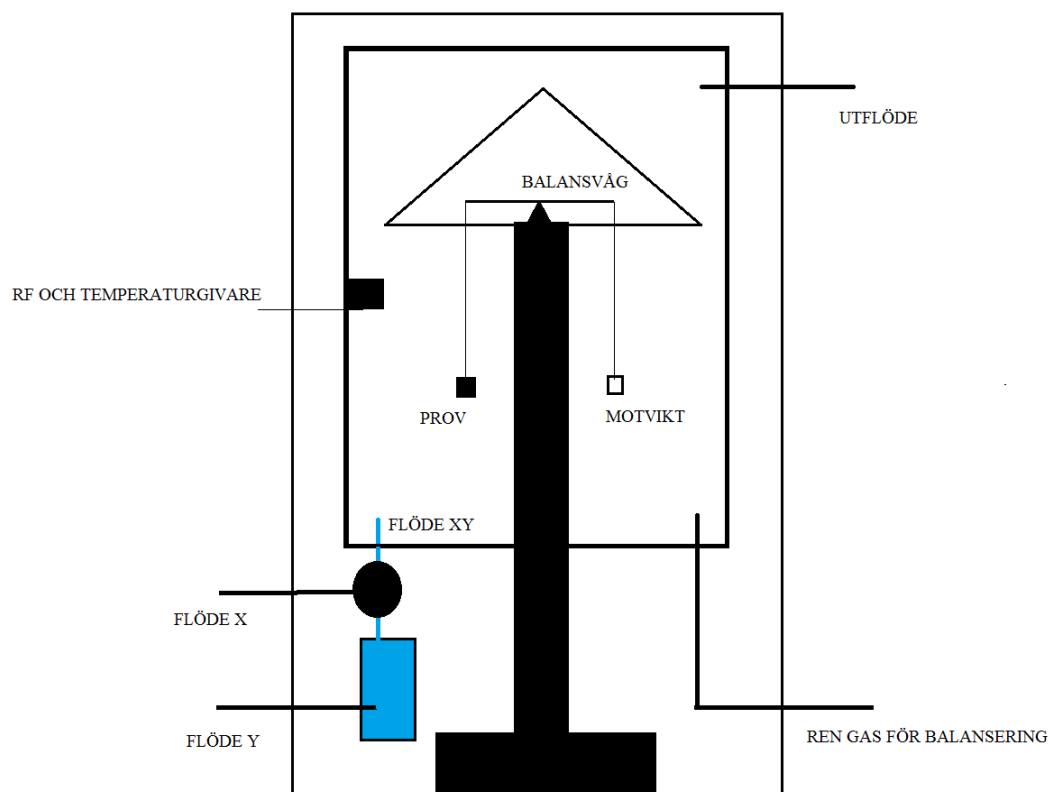
## 5.4 Bestämning av fuktegenskaper

För att bestämma fuktegenskaperna hos avjämningsmassan används två metoder vilka beskrivs i det här kapitlet. De används för att kunna göra en simulering av uttorkningsförloppet med en fuktmodell.

### 5.4.1 Bestämning av sorptionsisoterm

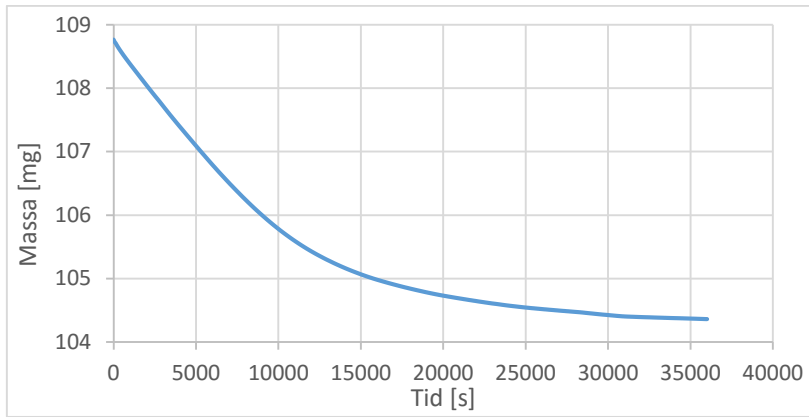
När en sorptionsisoterm bestäms måste fuktupptagningen vara känd vid en given RF. En sorptionsvåg används för att mäta fuktupptagningen genom att mycket noggrant stegvis generera olika RF-nivåer under samtidig vägning av materialprovet. När massan vid jämvikt med olika RF-nivåer registrerats kan sorptionsisotermen bestämmas. Det finns en metod utvecklad av Anderberg & Wadsö [11] som medger en samtidig bestämning av sorptionsisoterm och fuktransportskoefficient utan att uppnå fullständig jämvikt vid försöken. Denna metod har använts i försöken för att spara tid.

I Figur 29 visas en principskiss för hur en sorptionsvåg ser ut och fungerar. Kvävgas leds in i kammaren genom två kvävgasströmmar. Torr kvävgas har en RF på 0 % och för att generera högre RF blandas gasen genom två kvävgasströmmar, X och Y där ena flödar genom en vattenbehållare för att ge 100 % RF. Flöde Y har då 100 % RF och flöde X 0 % RF. Genom en precis flödeskontroll genereras bestämt RF i det blandade flödet XY. I den inre kammaren balanseras flödet med ett flöde av ren gas och leds ut i utflödet. Temperatur, RF och massa registreras och skickas till en dator som loggar förloppet.



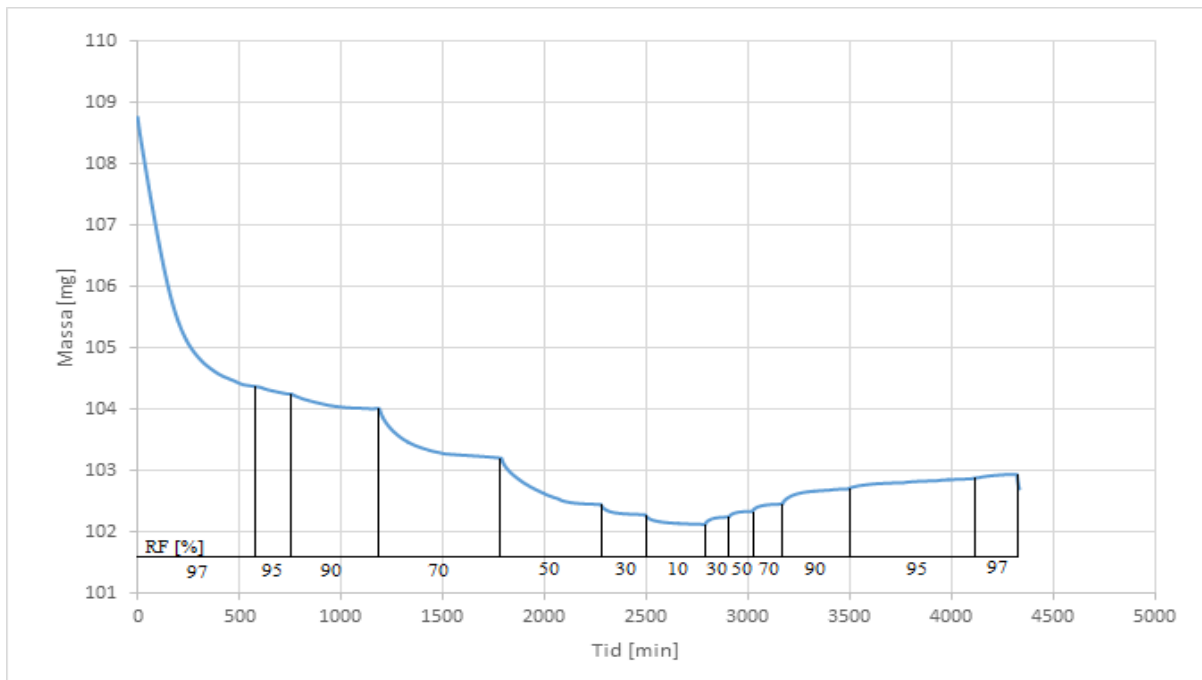
Figur 29. Principskiss över en sorptionsvåg [11].

Massan och massändringen per tidsenhet ( $dm/dt$ ) för provet registreras vid olika RF-nivåer av balansvågen som provet hänger i. Genom att ställa in en sekvens av olika RF kör sorptionsvågen försöket automatiskt. Massan registreras varje minut genom hela sekvensen och byter aktuellt RF efter en viss tid eller när det inställda massändringskravet,  $dm/dt$  har uppfyllts. Jämviktskravet  $dm/dt$  är ett krav som ställs in av användaren i storleksordningen 0,001 %/min, där % är massändring mot totala massan. En insvängning av massan under 35 000 sekunder visas i Figur 30.



Figur 30. Massändring för en bestämd RF i sekvensen (i detta fall desorption vid 97 % RF).

I Figur 31 ses resultat från en sekvens i sorptionsvågen. Massan vid alla RF i sekvensen ses i diagrammet och utifrån det kan sorptionsisotermen beräknas.



Figur 31. Diagram över avläst massa under försökssekvens som används för bestämning av sorptionsisoterm.

Provet torkades i sorptionsvågen ner till 10 % RF och vägdes sedan på en konventionell våg.

#### 5.4.1.1 Tillverkning av provkroppar för sorptionsvåg

Sorptionsvågen är ett precisionsinstrument och provstorleken är begränsad till 1,5 g. För att kunna väga avjämningsmassan i maskinen göts därför provkroppar i små metallringar. Metallringarna tillverkades av ett metallrör och kapades hos en verkstad. Ringarna hade en inre diameter på 5 mm och en tjocklek på 2 mm.

Innan blandning av avjämningsmassan till ringarna vägdes pulver och vatten upp med en noggrann våg (0,0001g). Vid blandning av normaltorkande avjämningsmassa användes 1000 g pulver och 210 g vatten. För den snabbtorkande avjämningsmassan användes 1000 g pulver och 180 g vatten. Blandning gjordes i en matberedare fabrikat Kitchen Aid under två minuter.

Metallringarna lades ut på en glasskiva för att få ett jämnt underlag för provkropparna. Avjämningsmassan hölls i de små ringarna med en smal plastprofil. Totalt fylldes tre ringar av

respektive avjämningsmassa. Ett objektglas lades ovanpå ringarna med en vikt för att proverna inte skulle härda för snabbt och för att de skulle bli jämna till ytan. De olika stegen visas i Figur 32.



Figur 32. Vänstra bilden visar fyllning av metallringarna. Mittersta bilden visar när avjämningsmassan trycks ner av en liten glasskiva. Bilden till höger visar en tyngd som läggs på glaset för att trycka ner det.

Proverna fick härda under objektglasen i tre dygn innan de inspekterades. Många av proverna hade ojämnheter och luftfickor vilket gjorde att de oanvändbara för försök med sorptionsvågen. Många av proverna från gjutningen kasserades därför och nya prover fick tillverkas. De möjliga felkällorna identifierades som luftfickor i gjutningen och vidhäftning mellan proven och glasskivan. I den andra gjutningen användes därför en plastfolie för att separera glasytan från avjämningsmassan. För att reducera luftfickor hos provet användes en nål för att röra om i avjämningsmassan under gjutning.

Åtgärderna för att få mer representativa provkroppar var lyckade. Med hjälp av en smärgelduk rengjordes ytan på ringen från avjämningsmassa. Alla proven vägdes sedan för att kontrollera om något prov var avvikande i massa. En avvikande massa kan nämligen förklaras av icke representativa proportioner hos provet, med för mycket eller för lite ballast eller luftfickor.

I sorptionsvågen hängdes provet med metallringen in med en krok av tunn ståltråd. En motvikt hängdes in i form av en krok och metallring, likadan som för provet. Provkroppen för cTrap klipptes mycket noggrant till en kvadrat 0,5 cm x 0,5 cm och hängdes in utan motvikt.

Innan proven hängdes in i sorptionsvågen fuktades provet upp till 100 % RF. Det gjordes genom att provet placerades i en tät plastbehållare tillsammans med en fuktig Wettex-duk. De konstanta stegen av RF i sekvensen var 97, 95, 90, 70, 50, 30 och 10 % och sedan upp till 97 % igen med samma RF-steg. För cTrap kördes en annan sekvens med fler steg vilka var 97, 95, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20 och 10 % och sedan upp till 97 % igen med samma RF-steg. I det första försöket valdes  $dm/dt \leq 0,0005$  % /min som krav. I senare försök sänktes detta krav till 0,0001 % /min för att få ett resultat med högre noggrannhet.

### **Beräkning av vatteninnehåll**

Den totala massan av metallring och avjämningsmassa,  $m_{total}$  efter att provet har kommit i jämvikt med 10 % RF vägdes med en noggrannhet på 0,00001 g.

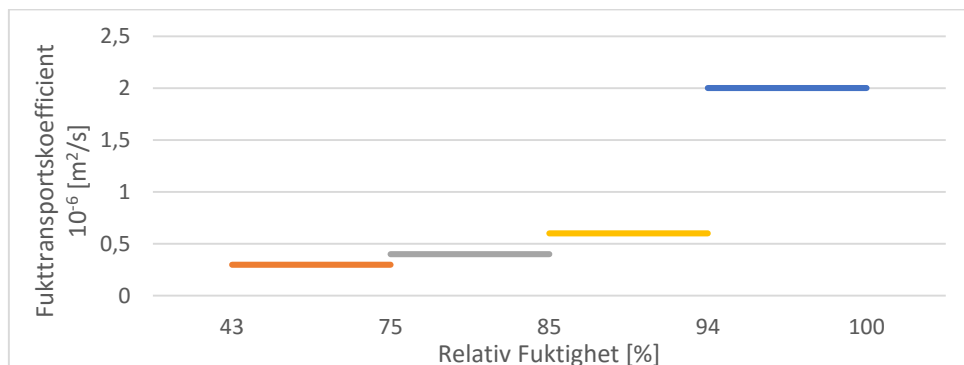
Efter vägning av den totala massan rengjordes ringen helt från avjämningsmassa med hjälp av ättiksyra och vägdes igen för att få den torra massan. Med torra massan och den avlästa massan, kunde sedan skillnaden i massa användas för att ta fram fuktkvoten,  $u_n$ .

$$u_n = \frac{m_{vatten,n}}{m_{torr}}$$

Beräkningen av vatteninnehållet gjordes också för cTrap. Samma förfarande användes som för avjämningsmassan. cTrap är mer genomsläppligt och metoder kunde därför köras med fler steg (se ovan). Efter Sekvensen torkades provkropparna ut till 0 % RF eftersom inget kemiskt bundet vatten förekommer i materialets struktur.

### 5.4.2 Bestämning av fukttransportkoefficient med koppförsök och sorptionsvåg

Fukttransportkoefficienten,  $D_v$ , beräknas för olika RF-intervall, se Figur 33. En medelfukttransportkoefficient tas fram och används för att beskriva materialets fukttransport.

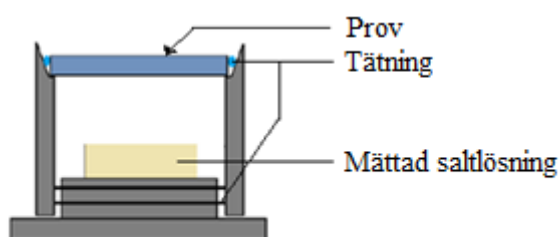


Figur 33. Exempel på medelfukttransportkoefficient för olika RF-intervall.

Beräkningen för framtagande av fukttransportkoefficienten kan göras med både den konventionella metoden koppförsök samt med sorptionsvåg.

#### 5.4.2.1 Bestämning av fukttransportkoefficient med koppförsök

Koppförsök är en mer konventionell metod för att bestämma fukttransportkoefficienten för ett material [6]. Ett prov placeras mellan två olika klimat. Testutförandet för koppförsöket ser ut som i Figur 34. Koppen är tillverkad av ett PVC-material och metoden är utvecklad av Hedenblad [25].



Figur 34. Principutförande för koppförsök enligt Hedenblad-metoden.

RF ska vara känd på båda sidor av provet, och normalt används en mättad saltlösning för att ge en konstant RF i koppen. Kopparna placeras i ett klimatrum eller en klimatbox där RF kan hållas konstant. När fukten från lösningen i koppen avgår till omgivande klimatet ändras massan för koppen. Genom att väga koppen regelbundet registreras viktändringen och fuktflödet från koppen kan beräknas. Med fuktflödet kan sedan fukttransportkoefficienten bestämmas.

Används fyra koppar med olika RF i ett försök med samma omgivande RF fås fyra transportkoefficienter. Vid beräkning av koefficienterna är ånghalten i det omgivande klimatet  $v_0$  samma för alla koppar. Ånghalten i kopparna benämns  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  samt  $v_4$  och med dessa tillsammans med flödet beräknas fukttransportkoefficienten i intervallen mellan omgivande klimat och koppen. Dessa benämns som  $D_{01}$ ,  $D_{02}$ ,  $D_{03}$  och  $D_{04}$ .

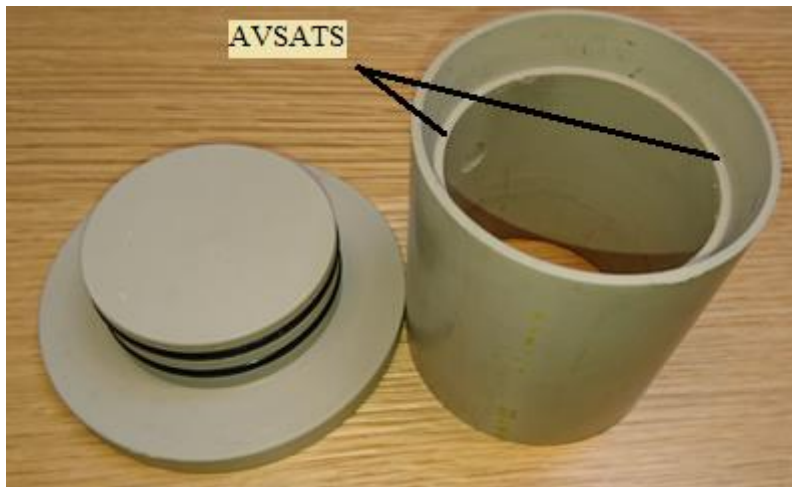
Med värden för varje intervall kan en medelfukttransportkoefficient beräknas för RF-intervallet mellan kopparna med ekvation (10) [26].

$$D_{12} = \frac{D_{02} \cdot (v_2 - v_0) - D_{01} \cdot (v_1 - v_0)}{v_2 - v_1} \quad (10)$$

Medelfukttransportkoefficienten benämns för dessa intervall som  $D_{12}$ ,  $D_{23}$  och  $D_{34}$ .

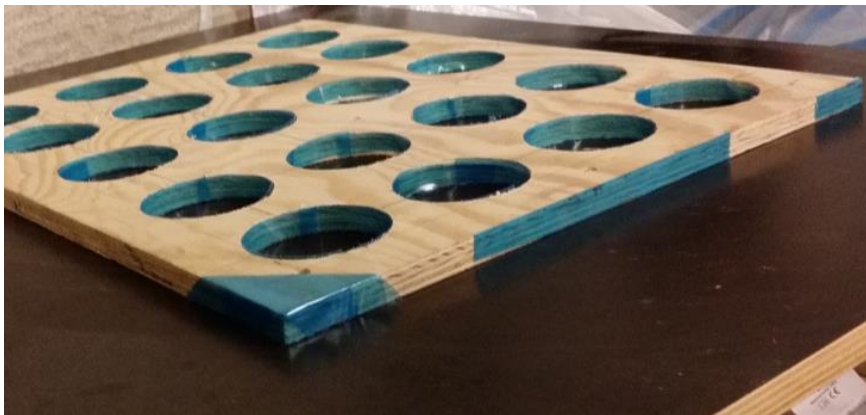
#### 5.4.2.2 Tillverkning av provkroppar till koppförsök

Koppen som användes hade en inre avsats på vilken provkroppen placerades vilket visas i Figur 35. Provkropparna som göts till koppförsöken hade diametern 62-64 mm för att passa koppen och vila på avsatsen.



Figur 35. Kopp som används vid koppförsök.

**Gjutning** En gjutform tillverkad av en plywood med uppborrade hål med diametern 62 mm. Som underlag skruvades en slät formplywood fast se Figur 36. Hålen tejpadades för att inte ta upp fukt.



Figur 36. Färdig form för gjutning av diskar.

Efter gjutningen fick en plast ligga över proverna till nästa dag för att ge en gynnsammare härdning. Dagen efter gjutning togs diskarna ut ur formen för att åtgärda ojämnheter i geometrin. Dessa ojämnheter åtgärdades genom att provkropparna slipades till önskade dimensioner med fint sandpapper.

**Preparering** När diskarna hade härdat klart användes tätningsband (fabrikat Platon) för att fästa diskarna i koppen och samtidigt täta koppen från fuktläckage, se Figur 37.





Figur 37. Tätningsband (blått) applicerat på inre avsats i kopp inför montering av prov.

Salterna som användes redovisas i Tabell 4 tillsammans med genererad RF vid mättad saltlösning. Salterna blandades till en mättad lösning med avjoniserat vatten vilket krävde olika blandningsförhållanden för varje salt. Lite extra salt tillsattes för att minimera risken för ofullständig mättnad och därmed undvika ett högre RF.

Tabell 4. Salter som används vid koppförsök, genererad RF och blandningsförhållanden.

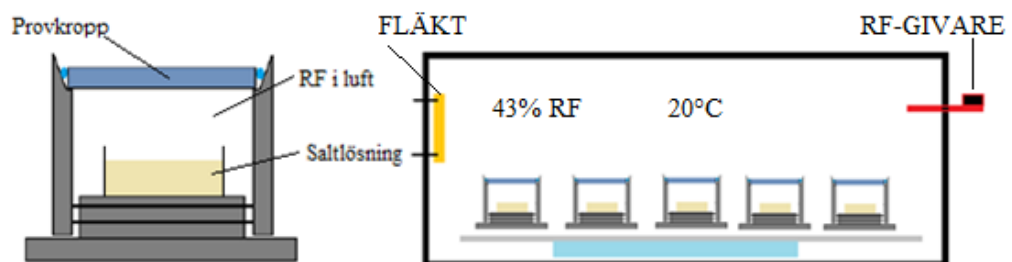
Saltlösning	RF [%]	Blandning (Vatten/Salt) [g/g]
$K_2CO_3$	43	Blandning sker tills övermättad
NaCl	75	2/1
KCl	85	5/2
$KNO_3$	94	5/2
$H_2O$ (Ingen saltlösning)	100	1/0

I Figur 38 ses prepareringen av kopparna med saltlösningarna. Saltlösningarna hälldes i transparenta plastbehållare vilka placerades i kopparna.



Figur 38. Preparering av koppar med saltlösningar inför koppförsök.

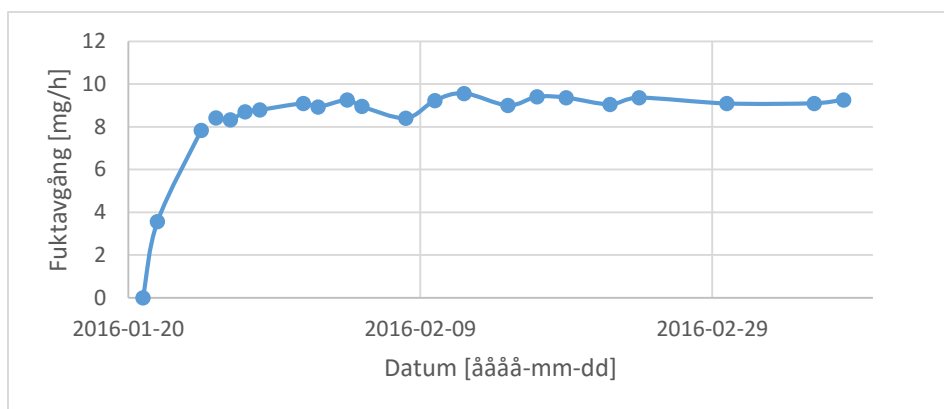
Kopparna placerades sedan i en klimatbox, se Figur 39. En fläkt i klimatboxen ökade luftförelserna och på så vis minskade övergångsmotståndet.



Figur 39. T.v. Skiss över koppförsök med saltlösning. T.h. förhållanden i klimatbox.

## Vägning

Kopparna vägdes innan de placerades i klimatkammaren. Uppföljande vägningar gjordes med jämna intervall för att mäta massändring tills den blev konstant med tiden, se Figur 40. Vågen som användes har en noggrannhet på 0,001 g (fabrikat *Ohaus*, modell *Explorer Pro*).



Figur 40. Fuktavgång från en kopp i mg/h.

När en mer konstant massändring uppnåtts kunde ett flöde,  $g$  beräknas för varje kopp. Med tjockleken på proverna, fuktflödet och ånghalterna för varje kopp känd kunde avjämningsmassans ånggenomgångsmotstånd och fukttransportkoefficienten beräknas utifrån flödet.

## Normaltorkande avjämningsmassa

I Tabell 5 ses värden på ingående termer i beräkningen som används för att bestämma fukttransportkoefficienten mellan kopporna och klimatet i klimatboxen. Fukttransportkoefficienten och ånggenomgångsmotståndet redovisas i

Tabell 6.

Tabell 5. RF i kopp, ånghalt i kopp, tjocklek för provkropp och beräknade flöden för koppar med normaltorkande avjämningsmassa och omgivande RF 43 %.

Index	RF-nivå i kopp [%]	Ånghalt, $v_{0-4}$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Tjocklek, $L_{1-4}$ [m]	Flöde, $g_{1-4}$ [ $\text{kg}/\text{s}/\text{m}^2$ ]
0	43	$7,40 \cdot 10^{-3}$	-	-
1	75	$12,96 \cdot 10^{-3}$	$12,90 \cdot 10^{-3}$	$4,32 \cdot 10^{-7}$
2	85	$14,69 \cdot 10^{-3}$	$13,25 \cdot 10^{-3}$	$6,11 \cdot 10^{-7}$
3	94	$16,24 \cdot 10^{-3}$	$13,15 \cdot 10^{-3}$	$8,16 \cdot 10^{-7}$
4	100	$17,28 \cdot 10^{-3}$	$13,10 \cdot 10^{-3}$	$8,80 \cdot 10^{-7}$

Tabell 6. Beräknade värden för fukttransportkoefficienten och ånggenomgångsmotståndet för de olika kopporna med normaltorkande avjämningsmassa.

Index	RF-intervall	Fukttransportkoefficient, $D_{,1-4}$ [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]	Ånggenomgångsmotstånd, $Z_{,1-1}$ [s/m]
1	43-75	$10,07 \cdot 10^{-7}$	12800
2	43-85	$11,15 \cdot 10^{-7}$	11900
3	43-94	$12,17 \cdot 10^{-7}$	10800
4	43-100	$11,70 \cdot 10^{-7}$	11200

Med värdena i Tabell 6 kan medelfukttransportkoefficienten för RF-intervallen mellan kopporna tas fram med ekvation (10) och resultatet redovisas i Tabell 7.

Tabell 7. Medelfukttransportkoefficient för normaltorkande avjämningsmassa för RF-intervallen 43-75 %, 75-85 %, 85-94 % samt 94-100 %.

RF-intervall [%]	Medelfukttransportkoefficient, $D$ [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
43-75	$10,07 \cdot 10^{-07}$
75-85	$14,58 \cdot 10^{-07}$
85-94	$16,94 \cdot 10^{-07}$
94-100	$7,72 \cdot 10^{-07}$

### Snabbtorkande avjämningsmassa

I Tabell 8 ses värden på ingående termer i beräkningen som används för att bestämma fukttransportkoefficienten mellan kopparna och klimatet i klimatboxen. Fukttransportkoefficienten och ånggenomgångsmotståndet redovisas i Tabell 10.

Tabell 8. RF i kopp, ånghalt i kopp, tjocklek för provkropp och beräknade flöden för koppar med snabbtorkande avjämningsmassa och omgivande RF 43 %.

Index	RF-nivå i kopp [%]	Ånghalt, $v_{0-4}$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Tjocklek, $L_{1-4}$ [m]	Flöde, $g_{1-4}$ [ $\text{kg}/\text{s}/\text{m}^2$ ]
0	43	$7,43 \cdot 10^{-3}$	-	-
1	75	$12,96 \cdot 10^{-3}$	$12,95 \cdot 10^{-3}$	$1,01 \cdot 10^{-7}$
2	85	$14,69 \cdot 10^{-3}$	$13,25 \cdot 10^{-3}$	$1,29 \cdot 10^{-7}$
3	94	$16,24 \cdot 10^{-3}$	$13,10 \cdot 10^{-3}$	$1,67 \cdot 10^{-7}$
4	100	$17,28 \cdot 10^{-3}$	$13,05 \cdot 10^{-3}$	$2,38 \cdot 10^{-7}$

Tabell 9. Beräknade värden för fukttransportkoefficienten och ånggenomgångsmotståndet för de olika kopparna med snabbtorkande avjämningsmassa.

Index	RF-intervall	Fukttransportkoefficient, $D_{,1-4}$ [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]	Ånggenomgångsmotstånd, $Z_{,1-4}$ [s/m]
1	43-75	$2,36 \cdot 10^{-7}$	55000
2	43-85	$2,36 \cdot 10^{-7}$	56100
3	43-94	$2,49 \cdot 10^{-7}$	52600
4	43-100	$3,16 \cdot 10^{-7}$	41300

Med beräkningsgången ovan kan fukttransportkoefficienten för RF-intervallen mellan kopparna tas fram med ekvation (10) och resultatet redovisas i Tabell 10.

Tabell 10. Medelfukttransportkoefficient för snabbtorkande avjämningsmassa för RF-intervallen 43-75 %, 75-85 %, 85-94 % samt 94-100 %.

RF-intervall [%]	Medelfukttransportkoefficient, $D$ [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
43-75	$2,36 \cdot 10^{-07}$
75-85	$2,38 \cdot 10^{-07}$
85-94	$3,09 \cdot 10^{-07}$
94-100	$8,84 \cdot 10^{-07}$

#### 5.4.2.3 Bestämning av fukttransportkoefficient med sorptionsvåg

Fukttransportkoefficienten beräknas med data från sorptionsvågen [11]. Metoden för sorptionsvåg och framtagning av provkroppar är beskrivet i tidigare kapitel.

Hur stor del av den totala massändringen som skett för varje steg i sekvens beskrivs med felkonstanten,  $E$  som beräknas enligt ekvation (11).

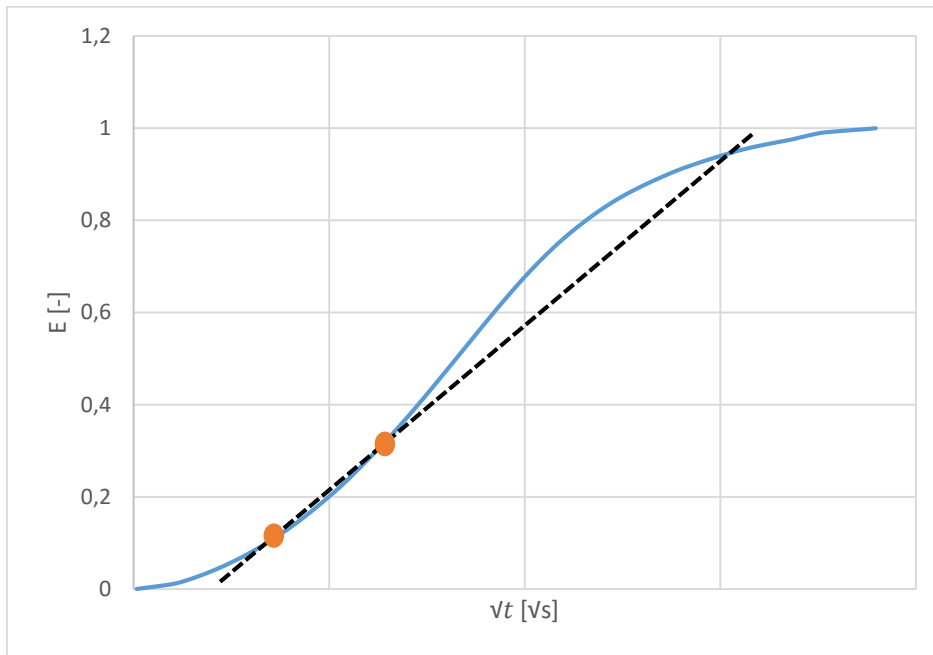
$$E = \frac{\Delta m}{\Delta m_{\infty}} \quad (11)$$

$E$  är kvoten av aktuell massändring,  $\Delta m$  och den totala massändringen vid jämvikt,  $\Delta m_\infty$ .  $E$  används sedan för att räkna fram  $D$  med ekvation (12).

$$D = \frac{L^2 \pi}{16} \left( \frac{dE}{d\sqrt{t}} \right)^2 \quad (12)$$

Där  $L$  är tjockleken [m] på provet,  $t$  representerar tiden [s] och  $\frac{dE}{d\sqrt{t}}$  är lutningen mellan 10 % massändring ( $E=0,1$ ) och 30 % massändring ( $E=0,3$ ) se Figur 41.

Med  $E$  känd kan sedan fukttransportkoefficienten med fukttinnehåll som potential,  $D$ , beräknas med hjälp av provkroppens tjocklek,  $L$ .



Figur 41. Diagram för beräkning av  $\frac{dE}{d\sqrt{t}}$  (lutning för streckad linje) med den procentuella massändringen,  $E$  plottad mot roten ur tiden (heldragen linje).

$D_v$  med ånghalt som potential beräknas med ekvation (13).

$$D_v = D \frac{dc}{dv} \quad (13)$$

Där  $c$  representerar fukthalten [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] och  $v$  är ånghalten [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]. Termen  $\frac{dc}{dv}$  är lutningen hos sorptionsisotermen med fukthalt på y-axeln och aktuell ånghalt på x-axeln.  $D_v$  blir en medelfukttransportkoefficient för respektive RF-intervall.

## 5.5 Mögelanalys

Mögelpåväxt på ett material kan undersökas okulärt och med mikroskop.

Med ett mikroskop kontrolleras ifall det finns nya, utvecklade och levande hyfer, mycel eller konidioforer vilket är tecken på att mögel växer på provet. Att bara hitta sporer på ett prov behöver inte betyda att mögel kan växa. Är det stora utvecklade områden med mögelpåväxt kan dessa även ses med ögat utan att använda mikroskop (okulärt).

För att dela in olika prover i grupper beroende på hur mycket mögel som har växt användes SP Metod 4927 [13]. Enligt denna metod rankas prover utifrån hur mycket mögel som har växt. Rankningen sker med fem olika grupper (0-4). Grupperna beskrivs nedan enligt [13].

## Grupp

- 0 Ingen mögeltillväxt har skett.
- 1 Tillväxt har börjat och en eller fler hyfer har hittats men inga sporer.
- 2 Tydlig men begränsad mögeltillväxt och sporer har börjat utvecklas.
- 3 Kraftig men ojämn mögeltillväxt med många välutvecklade sporer.
- 4 I stort sett är hela ytan täckt av en kraftig mögeltillväxt.

### 5.5.1 Bedömning av mögelpåväxt

Efter rivning av provkropparna analyserades cTrap okulärt på både ovansida och undersida. På de tjockare provkropparna kunde en tydlig mögelpåväxt konstateras på undersidan av cTrap, se Figur 42.



Figur 42. Mögelpåväxt på undersidan av cTrap för en 40 mm tjock provkropp, stora områden med tydlig mögelpåväxt.

På ett fåtal av de tjockare provbitarna som tagits ut för vidare undersökning i mikroskop kunde även mögelpåväxt observeras okulärt både på undersidan av avjämningsmassan och på cTrap, ett sådant exempel redovisas i Figur 43.

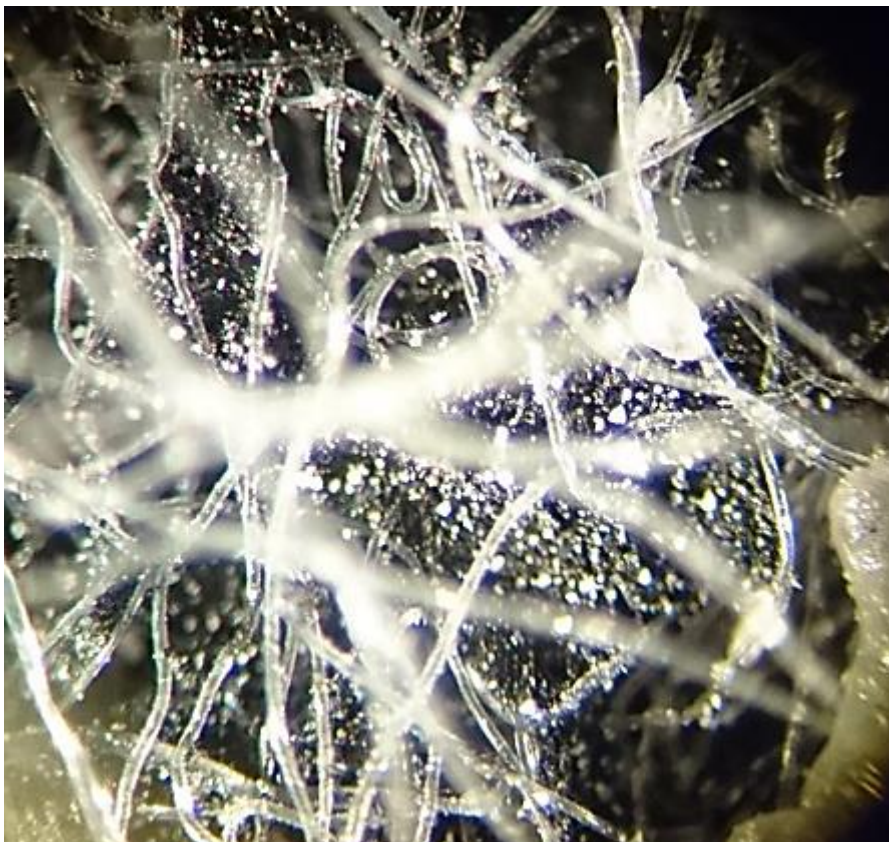


Figur 43. Mögelpåväxt på undersidan av avjämningsmassan. Röd cirkel visar mörkare fläckar som är mögelpåväxt.

Alla provkropparna undersöktes sedan i ett mikroskop med en uppställning som visas i Figur 44. Mikroskopet hade en förstoring på 40 gånger men eftersom mycel har en trådliknande struktur försvårades arbetet av att även cTrap har en trådliknande struktur. En mikroskopisk bild av cTrap visas i Figur 45.



*Figur 44. Undersökning av avjämningsmassans undersida i ett mikroskop.*



*Figur 45. Mikroskopisk bild av strukturen hos cTrap med 40 gånger förstoring.*

På flera provkroppar observerades dock utvecklade mycel, hyfer och konidioforer. Vissa var mycket utvecklade och andra var mindre utvecklade och fanns endast på ett fåtal ställen. Exempel på mögeltillväxt som fanns på undersidan av avjämningsmassan visas i Figur 46. Mycel, hyfer och konidioforer på cTrap och på undersidan av avjämningsmassan var betydligt svårare att identifiera och därför redovisas en bild från polymerskiktet i Figur 47 för att tydligare visa hur ett upptäckt mycel ser ut.



*Figur 46. Utvecklad konidiofor på undersida av avjämningsmassa.*



*Figur 47. Mögeltillväxt upptäckt i mikroskop. Röd ring visar utvecklad konidiofor med ny spor längst ut.*

Mögelpåväxt på undersidan av cTrap togs inte med i beaktning vid kategorisering enligt SP Metod 4927.





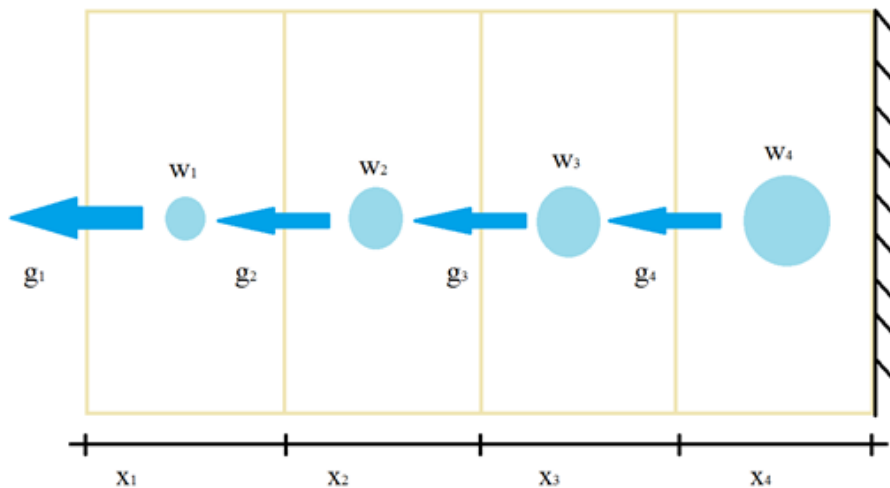
## 6 Fuktmodellering

Uttorkningen hos avjämningsmassan beskrivs med en icke-stationär fukttransportmodell. Modellen beräknas i ett programmerat Excelark, KFX som är framtaget på Chalmers. I modellen tas hänsyn till den fuktlagrande förmågan hos materialet och en fuktberoende fukttransportkoefficient som bestäms i sorptionsisotermen och beräkningar sker med ånghalt som potential. Modellen tar ingen hänsyn till ytavdunstning som sker vid uttorkningens start. Det som är avgörande i modellen är därmed fukttransportkoefficienten hos materialet, sorptionsisotermen, angivna villkor samt randvillkor (klimatet).

Vid beräkning delades materialen in i celler, se Figur 48, och vid en given tidpunkt beräknades fukttransporten,  $g$ , mellan cellerna vilket resulterade i en ändring av fukthalten,  $w$ . Summan av alla enskilda fuktförändringar mellan celler var lika före och efter tidssteget. Kontrollen kan liknas vid en balansräkning där summan av alla fukttransporter ska bli noll. Denna massbalansekvation löstes i varje tidssteg för alla celler utan hänsyn till självuttorkning i beräkningsförloppen med ekvation (14).

$$\frac{\Delta w_e(x,t)}{\Delta t} = -\frac{\Delta g(x)}{\Delta x} \quad (14)$$

där  $\Delta w_e(x,t)$  är fukthalten [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] efter tiden,  $t$  i punkten  $x$  och  $\Delta g(x)$  nettofukttransporten [ $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ] i punkten  $x$ .



Figur 48. Fukttransport enligt en icke-stationär fuktmodell, materialet är indelat i fyra celler med tjockleken  $x$ . Skillnaden i fukttinnehåll,  $w$  för cellen och i tidssteget ska vara lika för hela beräkningssteget.

Ekvation (14) beräknades för varje enskild cell för ett aktuellt tidssteg. Översiktligt gjordes beräkningen i sex olika steg för alla celler samtidigt.

1. Startvärdet för RF i varje cell noteras, vilket gör att aktuell fukttransportkoefficient kan väljas.
2. Ånghalten,  $v$  i varje cell ges med mättnadsånghalten för temperaturen,  $T$  i aktuell cell.
3. Fuktflödet,  $g$  mellan de olika cellerna beräknas med ånghalt som potential.
4. Fukthaltskillnaden,  $\Delta w$  för varje cell beräknas med aktuellt tidssteg.
5.  $\Delta w$  ger  $\Delta RF$  för varje cell vid avläsning från sorptionsisotermen.
6. Med  $\Delta RF$  känd för tidssteget kan steg 1 startas igen med ny RF.

Tidssteget måste anpassas till materialegenskaperna eftersom ett för stort tidssteg kan ge en obalans i beräkningen. För att kunna genomföra beräkningen måste sorptionsisotermen och fukttransportkoefficienten vara kända för alla ingående material.

## 6.1 Simulering av uttorkning av avjämningsmassa

Indata och materialdata till modellen hämtades från resultaten från försöken utförda i detta arbete. I rummet där provplattorna exponerades rådde ett konstant klimat med temperaturen 20 °C och RF 50 %. Beräkningen utfördes för 93 dygn hos 25mm och 40mm proverna och 60 dygn för 15mm proverna motsvarande den tid som RF mättes vid cTrap och i avjämningsmassan med uttaget prov.

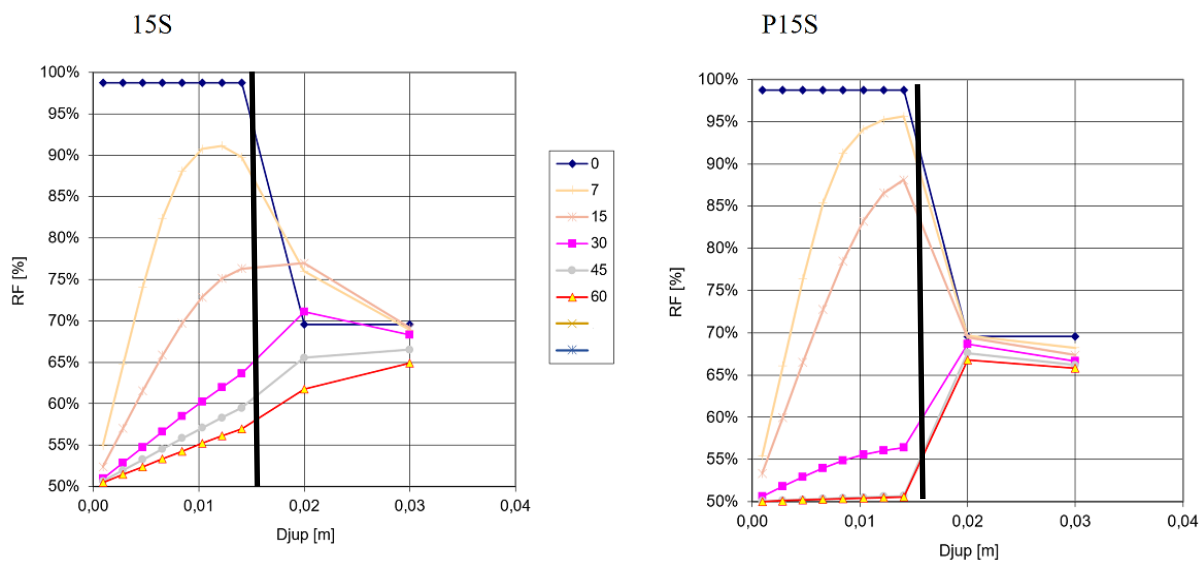
Indata till programmet KFX kan ses i Figur 62. Sorptionsisotermen och fukttransportkoefficienten anpassades till en funktion efter uppmätta värden. Kurvanpassning till funktionen utfördes av ett programmerat Excel ark. Beräkningen gjordes för snabbtorkande avjämningsmassa. I beräkningen antogs att självtuttorkningen hos den snabbtorkande avjämningsmassan motsvara en sänkning av fuktigheten med 1,4 % RF. Uttorkning till 98,6 % har alltså skett vid simuleringens start.

Programmet gav RF-profilen vid olika tider. Tidssteget i modellen ansattes till en timme. Fukthalten vid aktuell RF-nivå är startvärde för avjämningsmassan. Avjämningsmassan har delats upp i åtta identiska celler. Fukttransportkoefficienten som använts i beräkningen är uppmätta i det här arbetet. Det är mycket svårt att mäta vad fukttransportkoefficienten är vid fuktillståndet 100 % RF och eftersom KFX behöver den informationen uppskattades ett värde till  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  i punkten 100 % RF. Betongen under avjämningsmassan hade RF 69 % (uppmätt värde) och antogs ha kvalitet K25 som representeras i modellen av två celler. Tjockleken för de två cellerna sattes till 10 mm. För alla provkroppar som har en PE-folie adderades ett motstånd mellan avjämningsmassan och betongen med ånggenomgångsmotståndet  $Z=2 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ .

### 6.1.1 Resultat fuktmodellering

Samtliga resultat av fuktmodelleringen redovisas i en RF-profil över hela tjockleken. För jämförelse av resultat med fuktmätningen i provkropparna ska medelvärdet på RF-profilen över hela tjockleken tas för uttaget prov. För jämförelse med ingjuten RF-givare är det resultatet vid hela tjockleken, d.v.s. i nivå med cTrap.

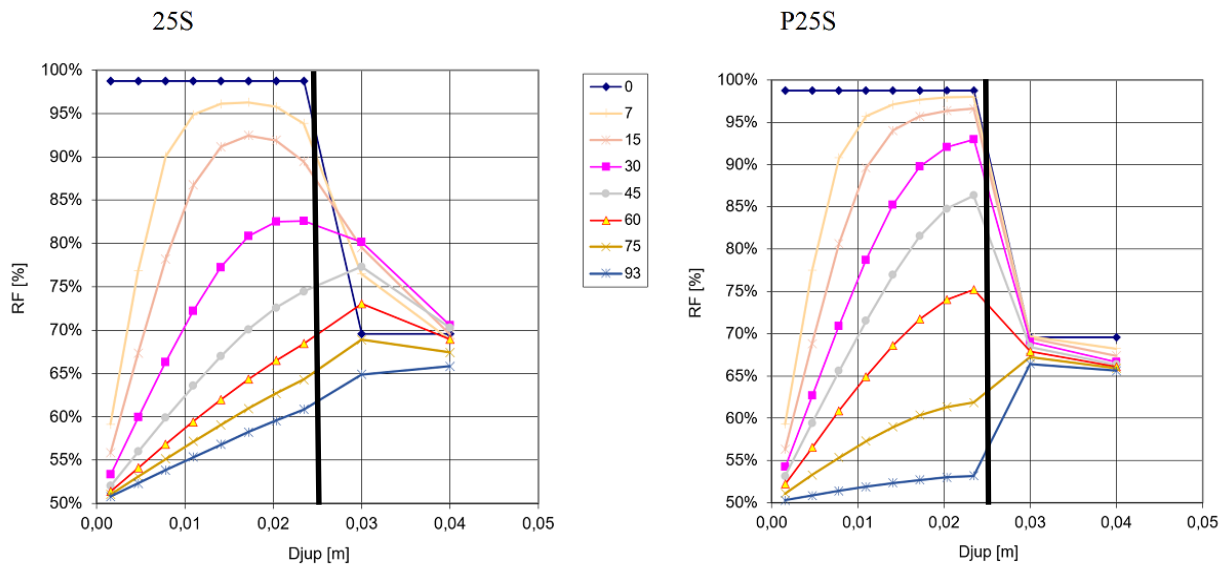
I Figur 49 ses fuktprofilen för snabbtorkande avjämningsmassa med tjockleken 15 mm utan fuktspärr (15S) till vänster och med fuktspärr (P15S) till höger. 15S har inte torkat ut fullständigt medan P15S har torkat ut nästan fullständigt till omgivande klimat. Det grova/tjocka heldragna linjen i diagrammet visar gränsen mellan avjämningsmassa (till vänster om linjen) och betong (till höger om linjen)



Figur 49. Fuktprofil för 15S respektive P15S. Linjetyperna som visas i rutan mellan diagrammen anger tid efter gjutning i dygn.

I fallet med 15S tar betongen upp en del fukt tidigt i skedet, denna fukt torkar sedan genom avjämningsmassan vilket ger en fuktigare avjämningsmassa mot slutet.

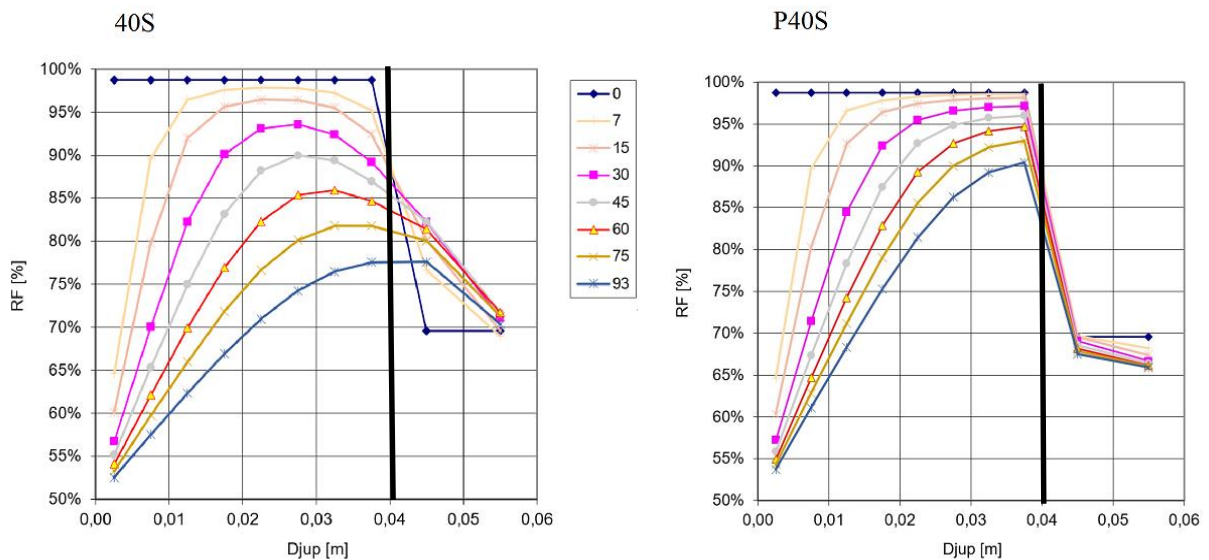
I Figur 50 ses snabbtorkande avjämningsmassa med tjockleken 25 mm utan fuktspärr (25S) till vänster och med fuktspärr (P25S) till höger. Det grova/tjocka heldragna linjen i diagrammet visar gränsen mellan avjämningsmassa (till vänster om linjen) och betong (till höger om linjen)



Figur 50. Fuktprofil för 25S respektive P25S. Linjetyperna som visas i rutan mellan diagrammen anger tid efter gjutning i dygn.

För uttorkningen spelar tjockleken en mycket stor roll vilket ses i skillnaden mellan RF-profilerna i Figur 49 och Figur 50. Studeras RF-profilen i Figur 50 noteras att P25S är torrare efter 93 dygn än 25S.

I Figur 51 ses snabbtorkande avjämningsmassa med tjockleken 40 mm utan fuktspärr (40S) till vänster och med fuktspärr (P40S) till höger. Det grova/tjocka heldragna linjen i diagrammet visar gränsen mellan avjämningsmassa (till väster om linjen) och betong (till höger om linjen).



Figur 51. Fuktprofil för 40S respektive P40S. Linjetyperna som visas i rutan mellan diagrammen anger tid efter gjutning i dygn.

Med tjockare avjämnning verkar plastfolien försämra uttorkningen väsentligt. Efter 93 dygn har båda de tjockare avjämnarna en hög fuktighet, som kan utgöra högre risk för fuktrelaterade problem för omgivande konstruktioner. När fuktutbyte sker med underlaget kan det vara gynnsamt att inte applicera en fuktspärr ur uttorkningssynpunkt, under förutsättning att underlaget har lägre RF än vad avjämnningen ska torka till.



## 7 Resultat och diskussion

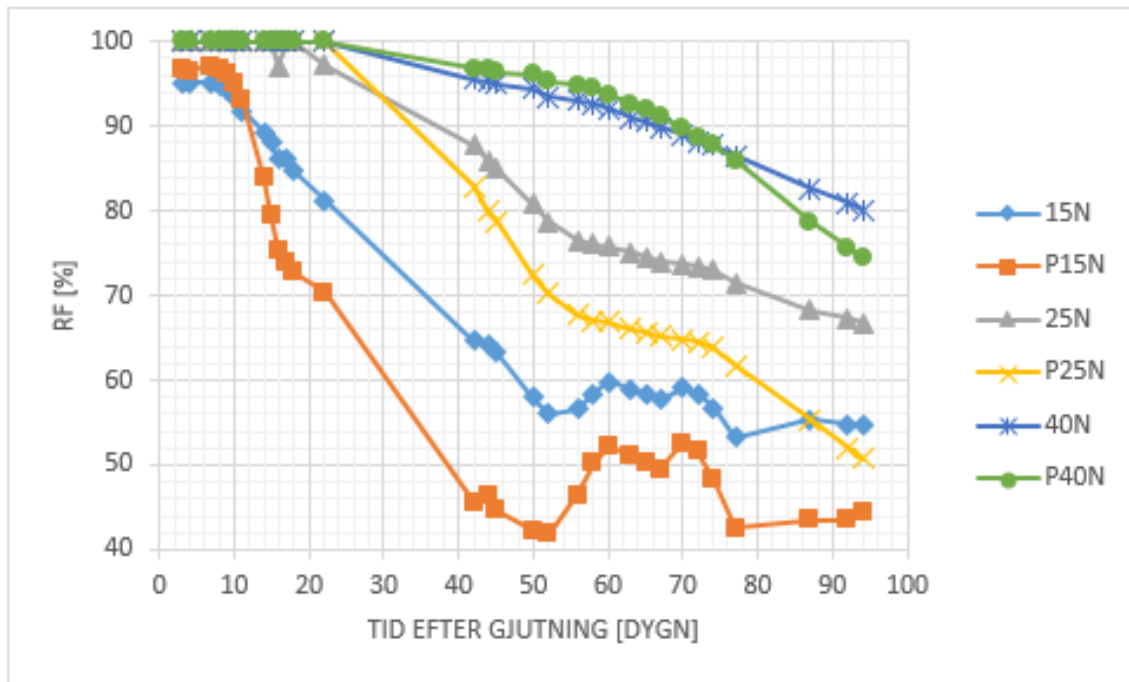
I det här kapitlet kommer resultaten från de olika försöken att redovisas och diskuteras. I diagram och tabeller i kapitlet är de tolv stora provkropparna benämnda enligt förkortningar där P betyder att det finns en underliggande fuktspärr (PE-folie), ett tal beskriver avjämningsmassans tjocklek i mm och N respektive S förklarar om avjämningsmassan är Normaltorkande eller Snabbtorkande.

### 7.1 Fuktmätning

Nedan visas värden för fuktmätningar med ingjuten RF-givare och uttaget prov med en diskussion om resultatet.

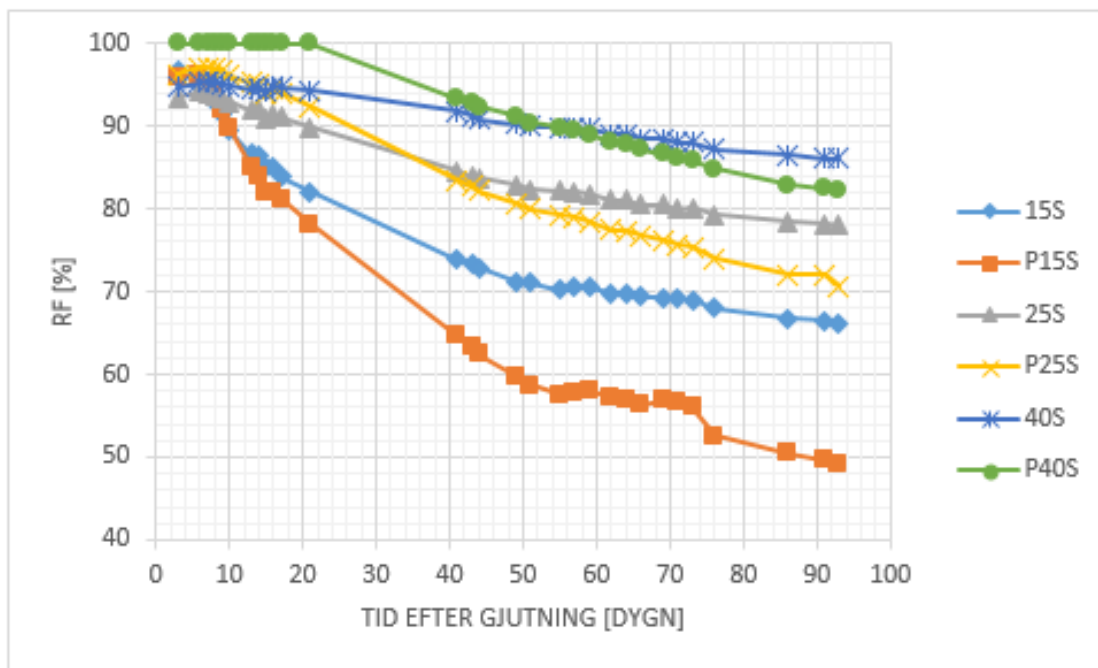
#### 7.1.1 Ingjuten RF-givare

I Figur 52 redovisas den RF som har uppmätts med RF-givare i mäthål för den normaltorkande avjämningsmassan. Mätningen gjordes precis ovanför cTrap och med tanke på det låga ånggenomgångsmotstånd i cTrap antas samma RF råda i cTrap. I diagrammet noteras att RF-nivån vid cTrap i provkropparna 15N och P15N hade kommit i jämvikt med omgivningen efter ca 50 dagar. RF var högre vid jämvikt för provkropparna utan underliggande fuktspärr för samtliga provkroppar. RF-nivån för cTrap i P25N var efter 93 dagar drygt 50 % RF medan 25N hade 66 % RF. cTrap i provkropparna 40N och P40N hade en RF mellan 75 % och 80 % när mätningen avslutades.



Figur 52. RF vid cTrap för normaltorkande avjämningsmassa.

Uppmätt RF med RF-givare i mäthål vid cTrap i provkropparna med snabbtorkande avjämningsmassa redovisas i Figur 53. I diagrammet syns att RF-nivån inte hade kommit i jämvikt med omgivande klimat för någon av provkropparna vid mätseriens slut. Den provkropp som hade lägst RF var P15S som hade 50 % RF. I provkroppen 15S var RF 66 % vid cTrap vid mätseriens slut. I provkropparna 25S och P25S hade cTrap en RF på mellan 71 % och 78 % och i provkropparna med tjockleken 40 mm låg RF mellan 82 % och 86 %.



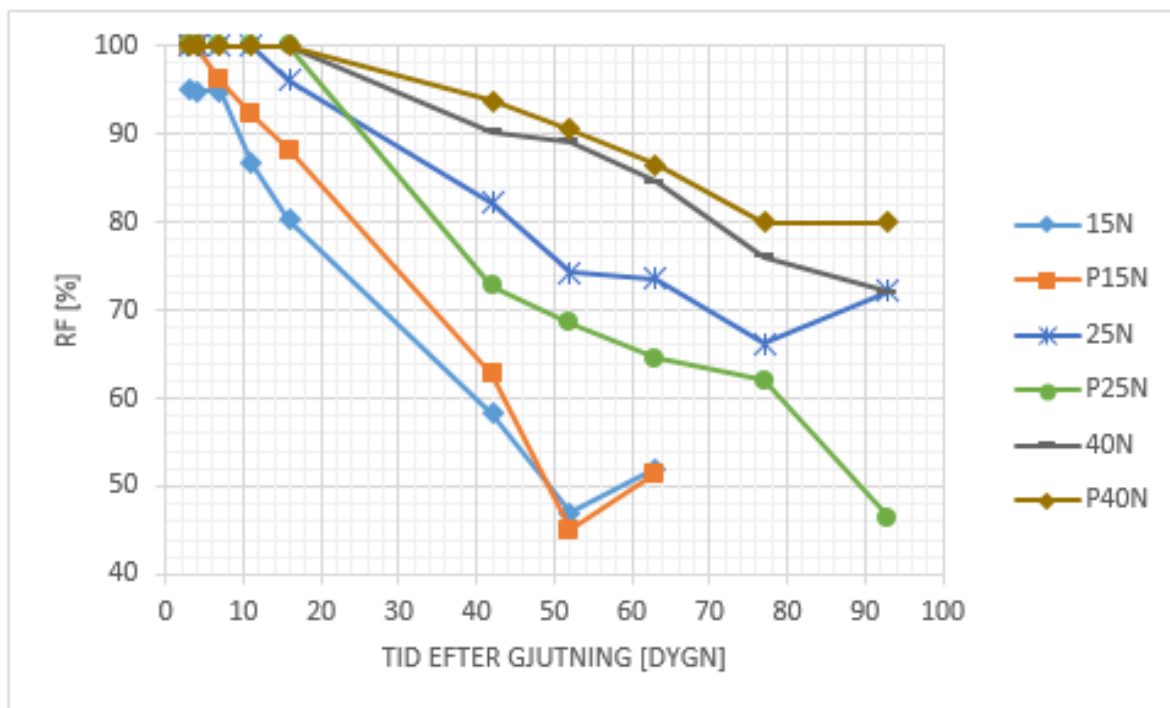
Figur 53. RF vid cTrap för snabbtorkande avjämningsmassa.

Resultatet för RF-mätningen visar att det i början av mätserien var torrare vid cTrap i provkroppar utan underliggande fuktspärr. Mot slutet av mätserien var det tvärt om, provkroppar med underliggande fuktspärr var torrare vid cTrap. cTrap är torrare med normaltorkande avjämningsmassa än med snabbtorkande över lång tid. Det kan förklaras med det fuktutbyte som sker mellan avjämningsmassan och betongen, vilket är fördelaktigt till en början, men ger fuktigare avjämnning vid mätseriens slut. Appliceras avjämningsmassan utan fuktspärr kan betongen ta upp fukt från avjämningsmassan, vilket hjälper till att sänka RF i avjämningsmassan i början. Efter tillräcklig uttorkning kommer sedan RF i avjämningsmassan bli lägre än RF i betongen och en fukttransport från betongen till avjämningsmassan kommer att ske, vilket ger en fördröjd uttorkning.

Provkroppar med en underliggande fuktspärr hade också en lägre RF vid jämvikt med det omgivande klimatet. Det berodde på betongens högre RF, ca 70 % som påverkade fuktjämvikten.

### 7.1.2 Uttaget prov

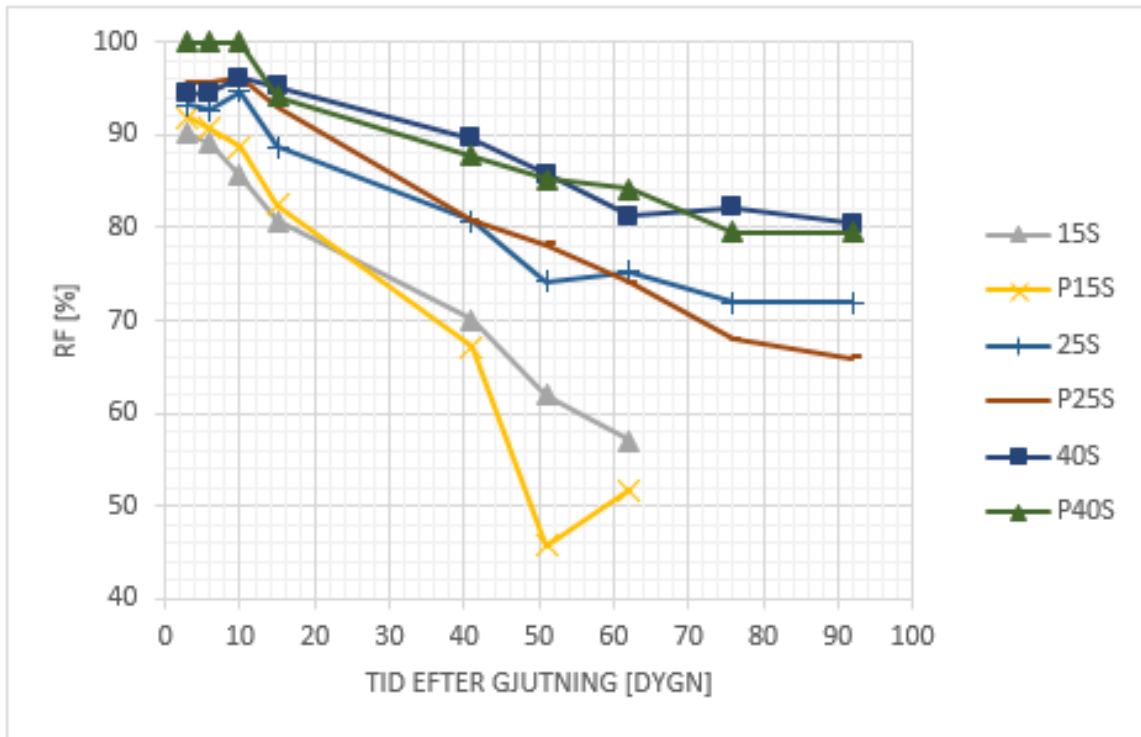
I Figur 54 redovisas resultatet från mätning med uttaget prov för den normaltorkande avjämningsmassan med och utan plastfolie för de tre tjocklekarna 15 mm, 25 mm samt 40 mm. På y-axeln redovisas RF [%] och på x-axeln tid efter gjutning i dygn.



Figur 54. Uttorkningsförlopp för provkroppar med normaltorkande avjämningsmassa vid uttaget prov.

Resultatet visar att provkropparna 15N och P15N hade torkat ut till ca 45 % RF vilket motsvarar det omgivande klimatet efter ca 50 dagar. Provkropparna 25N och P25N har avvikande sista värden. RF för 25N steg kraftigt trots att den inte var uttorkad. För P25N sjönk RF väldigt kraftigt vid sista mätningen, vilket kan bero på mätfel. Om uttorkningstrenden följs för provkropparna borde de istället ha torkat till mellan 60 % och 67 % RF vid mätseriens slut. Provkropparna 40N och P40N hade torkat ut till mellan 70 % och 78 % RF vid mätseriens slut om provkropparnas uttorkningstrend följs. Vid analysen av uttorkningsförloppet syns att en underliggande fuktspärr var gynnsam och hjälpte till att sänka RF för de tunnare avjämningsmassorna. För de tjockare avjämningsmassorna gav det istället en ökad uttorkningstid. Samma trend syns i fuktmodellen och mätningar med ingjuten RF-givare.

Resultatet av RF för de uttagna proven för den snabbtorkande avjämningsmassan med och utan plastfolie för de tre tjocklekarna 15 mm, 25 mm samt 40 mm visas i Figur 55. På y-axeln i Figur 55 redovisas RF [%] och på x-axeln tiden efter gjutningen [dygn].



Figur 55. Uttorkningsförlopp för provkroppar med snabbtorkande avjämningsmassa vid uttaget prov.

Det ser ut som att P15S hade torkat ut och kommit i jämvikt med omgivande klimat vid sista mätningen. Det avvikande RF värdet på samma kurva kan förklaras av mätfel som styrks av avvikelsen hos uttorkningskurva vid jämförelse med andra mätserier. Om en jämförelse görs mot kurvan för samma provkropp i Figur 53 syns det, eftersom det ser ut som om provkroppen hade torkat ut med metoden uttaget prov. Det kan vara att mätningen efter 51 dagar är ett missvisande värde. Noteras lutningen på kurvan är den väldigt brant mellan mätningarna efter 41 och 51 dagar jämfört med tidigare lutning på kurvan. Provet för 15S hade torkat ut till 57 % efter 62 dagar. Vid mätseriens slut hade provkropparna 25S och P25S torkat ner till mellan 65 % och 71 % RF. Provkropparna 40S och P40S hade torkat ut till ca 80 % RF. Uttorkningsförloppet för den snabbtorkande avjämningsmassan visar att skillnaderna mellan med och utan plastfolie var mindre än för den normaltorkande avjämningsmassan. Samma tendens finns där ändå med att fuktspärren gav en snabbare uttorkning för de tunnare avjämningsmassorna men inte för de tjockare.

Alla krav för metoden uttag av prov kunde inte följas vid mätningarna. Proven blev varmare än gränstemperaturen och borrhningsförloppet tog för lång tid. Temperaturen på proven blev upp mot 50 °C i många fall vilket är 15 °C över den maximala temperaturen på 35 °C enligt kravet. Hålsågen som användes var större vilket gav mer provmaterial. Hela provet kunde inte placeras i provrör och därför lades inte allting av det krossade provet i provröret för avläsning. Det urval som gjordes vid krossningen kan medföra att en del av höjdprofilen bli överrepresenterad. De avvikande mätvärdena som noterats i Figur 54 och Figur 55 kan förklaras av dessa fel, som tydligast kan ses i de senaste mätningarna för 25N samt P15S. Lutningen följer inte tidigare trender eller omgivande klimat. RF för provkroppen 25N ökade i sista mätningen (efter 77 dagar) vilket inte är realistiskt eftersom den inte hade torkat ut utan låg runt 65 % RF och RF för P15S sjönk väldigt snabbt mellan mätningarna efter 41 och 51 dagar och sedan ökade den mycket efter 51 dagar vilket inte stämmer överens med resultatet från RF-givaren i mät hålet.



### 7.1.3 Reflektion kring fuktmätning

Den normaltorkande avjämningsmassan torkar ut snabbare än den snabbtorkande avjämningsmassan vid långa uttorkningstider. I början av uttorkningsförloppet var den normaltorkande avjämningsmassan däremot fuktigare än den snabbtorkande. Det kan bero på att mer vatten användes vid blandning av den normaltorkande avjämningsmassan vilket gav ett högre vbt. För hela uttorkningsförloppet är den inre fukttransporten av stor betydelse för uttorkningen. Eftersom den normaltorkande avjämningsmassan har en större fukttransportkoefficient så kommer fukttransporten i den avjämningsmassan att gå snabbare än i den snabbtorkande. Därför var den normaltorkande avjämningsmassan torrare i slutet av mätningarna.

cTrap förhindrar vidhäftningen för avjämningsmassan mot betongen. Det kan ha medfört uttorkning som inte skulle förekommit i ett verkligt fall eftersom ojämnheter och skålningseffekter förekom. Ojämnheter till följd av det har exponerat undersidan hos avjämningsmassan mot luften i omgivande klimat under uttorkningsförloppet. Felkällan bedöms vara ett grovt fel som kan ha påverkat mätresultaten.

Enligt tillverkaren (produktblad) är den normaltorkande avjämningsmassan mattläggningsbar 1-9 veckor efter gjutning (vad som gäller för respektive tjocklek redovisas inte). Den snabbtorkande avjämningsmassan är mattläggningsbar efter ett dygn för tjocklekar upp till 30 mm och efter två dygn på tjocklekar upp till 40 mm. Det gäller under förutsättningar att underlaget är torrt och omgivande klimat är cirka 20 °C och RF 50 % med god ventilation. Den RF som råder efter rekommenderad beläggningsstid i försöken visar att risken i flera fall är stor för mögeltillväxt och andra fuktrelaterade problem. Skulle applicering av en tät golvbeläggning ske på avjämningsmassan efter tillverkarens rekommendationer resulterar det i en hög RF, vilket ses i Tabell 11. I tabellen redovisas RF-nivån för provkropparna efter föreskriven beläggningsstid i produktdatabladet för respektive avjämningsmassa. I verkligt fall bör uttorkning ske till kritisk RF för omgivande material.

Tabell 11. RF efter rekommenderad beläggningsstid för de båda typerna av avjämningsmassa

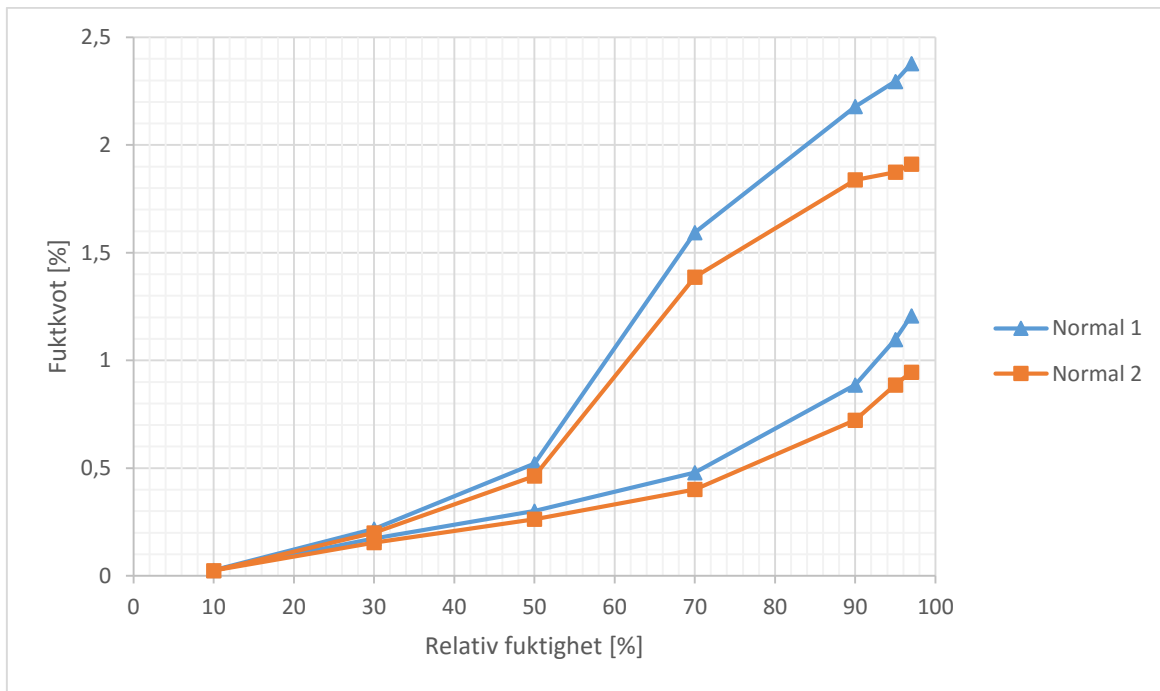
Tjocklek [mm] (Avjämningsstyp)	15 (N)	25 (N)	40 (N)	15 (S)	25 (S)	40 (S)
Beläggningsbar [dygn efter gjutning]	7	28	63	1	1	2
RF [%] Utan/med plast	>90/<90	87 / 90	85 / 87	>90	>90	>90

## 7.2 Materialens fuktegenskaper

Nedan redovisas resultaten från sorptionsvägen och kopptester

### 7.2.1 Sorptionsisotermer

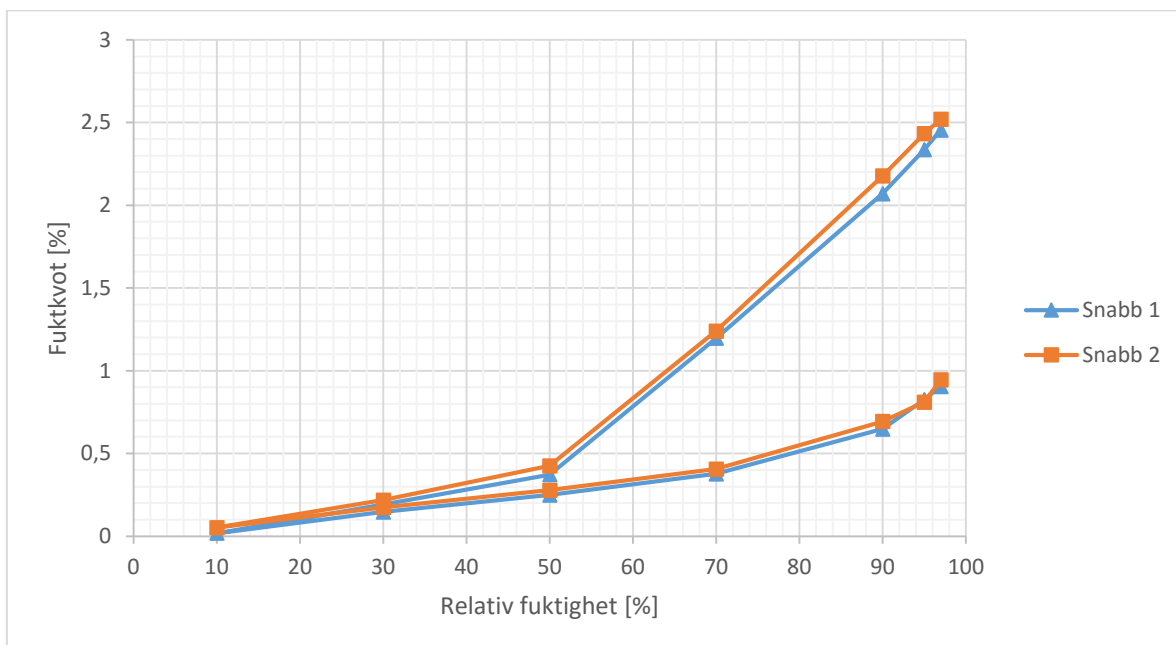
Sorptionsisotermen bestämdes för två provkroppar av normaltorkande respektive snabbtorkande avjämningsmassa samt för cTrap. Sorptionsisotermen från de två olika försöken för den normaltorkande avjämningsmassan visas i Figur 56.



Figur 56. Sorptionsisoterm för normaltorkande avjämningsmassa från försök med sorptionsvåg.

Skillnader noterades mellan de två mätningar för den normaltorkande avjämningsmassan. Möjliga felkällor som orsakat det kan komma från gjutningen av ringarna. BliR gjutningen inte helt korrekt för icke homogena material kan andelen mellan de ingående materialen (t.ex. ballast och bindemedel) skilja sig mellan olika provkroppar. Proverna kan också ha torkat ut olika mycket.

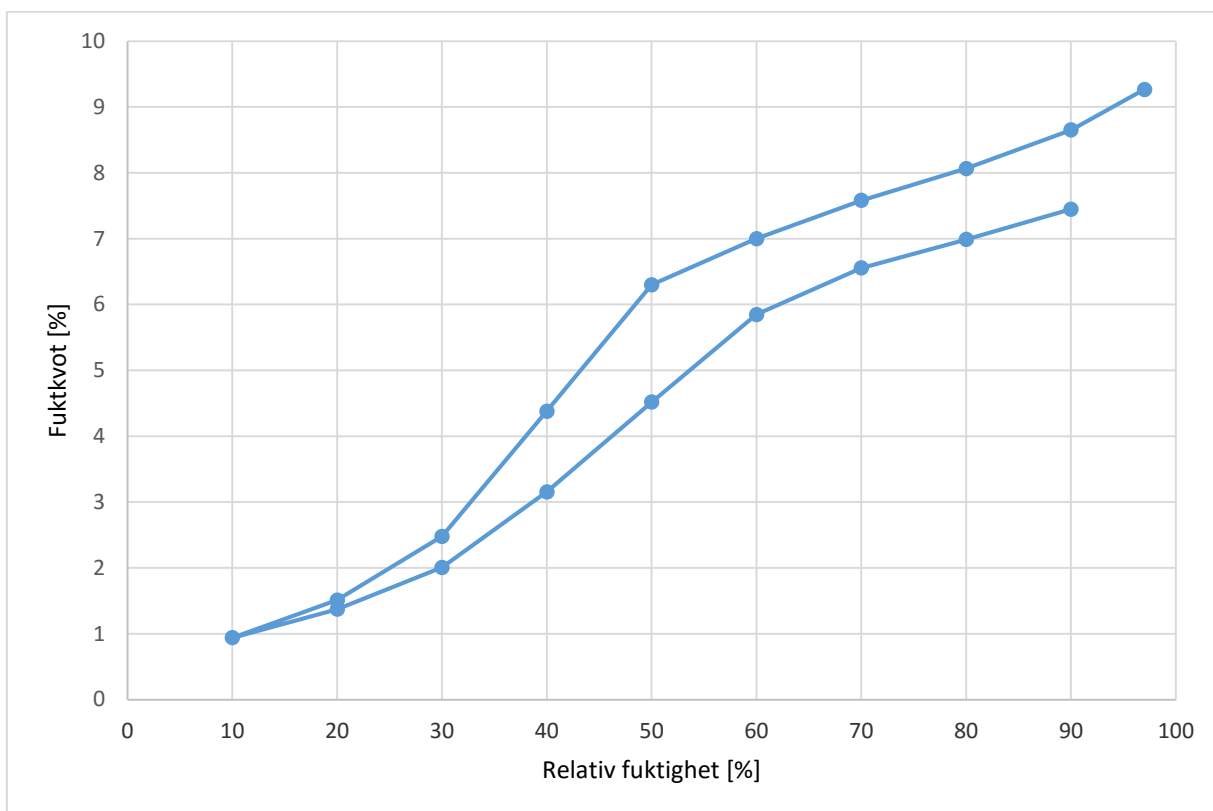
Sorptionsisotermen för den snabbtorkande avjämningsmassan utifrån de två försöken redovisas i Figur 57.



Figur 57. Sorptionsisoterm för snabbtorkande avjämningsmassa från försök med sorptionsvåg.

Mätningen för den snabbtorkande avjämningsmassan gav två resultat som stämde väldigt bra överens med varandra vilket tyder på att resultatet är representativt för materialet.

Sorptionsisotermen för cTrap visas i Figur 58.

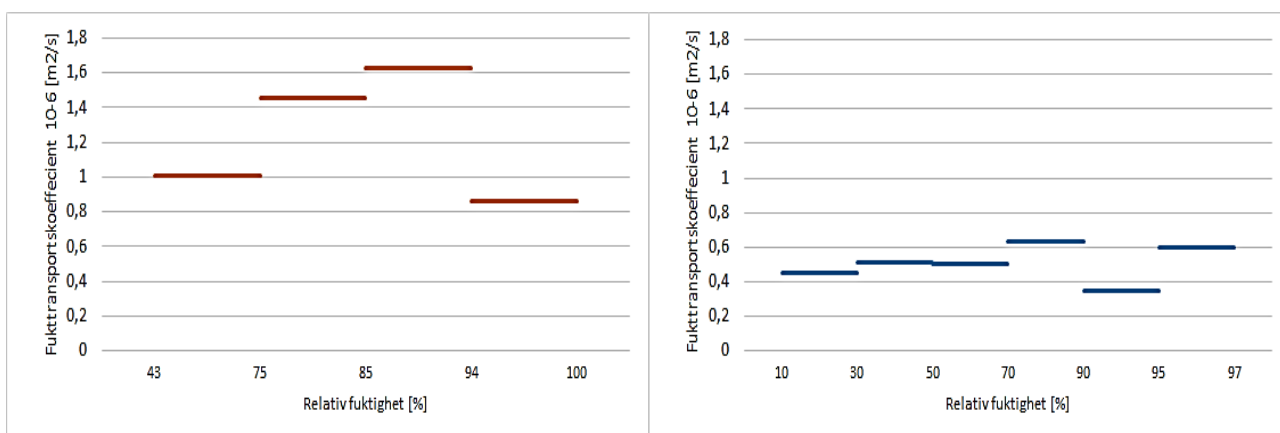


Figur 58. Sorptionsisoterm för cTrap från försök med sorptionsvåg.

Fuktkvoten i sorptionsisotermen var högre för cTrap än för de olika avjämningsmassorna. Eftersom cTrap har en betydligt lägre densitet än avjämningsmassorna så känns detta som ett rimligt resultat.

### 7.2.2 Fuktransportkoefficient

Fuktransportkoefficienten för de två olika avjämningsmassorna har tagits fram med både koppförsök och försök med sorptionsvåg. I Figur 59 visas fuktransportskoefficienten för den normaltorkande avjämningsmassan från båda försöken. Diagrammet till vänster i figuren visar resultatet från koppförsöken och diagrammet till höger visar resultatet från sorptionsvågen.



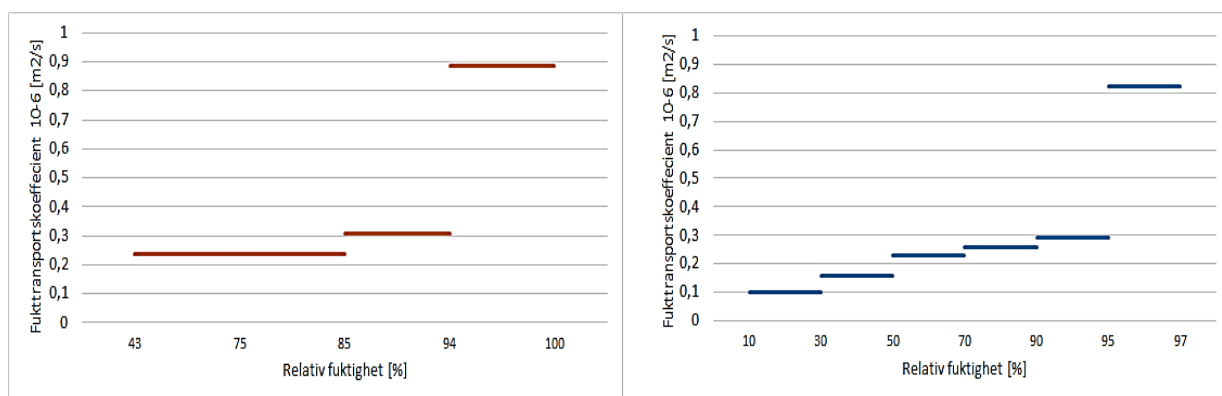
Figur 59. Diagram med framtagen fuktransportskoefficient för normaltorkande avjämningsmassa beroende av RF. Till vänster: Framtagen med koppförsök. Till höger: Framtagen med sorptionsvåg.

Fuktransportskoefficienterna för den normaltorkande avjämningsmassan framtagna med koppförsök respektive med sorptionsvåg skiljer sig avsevärt mellan koppförsöken och resultatet från

sorptionsvågen. Både koppförsöken och sorptionsvågen gav ett orimligt resultat eftersom högre RF ger högre fukttransportkoefficient. I koppförsöken kan det bero på läckage hos kopparna med 85 % och 94 % RF eftersom koefficienten uppskattas i intervall som beror på hela intervallet (kapitel 5.4.2). Nya försök hanns inte med inom tidsramen för arbetet.

En möjlig felkälla kan vara att uttorkningen hos provkropparna som användes i koppförsök och i sorptionsvågen inte var kända och kan därför ge skillnader hos proven och avjämningsmassorna som gjutits. Det var med andra ord inte helt känt hur mycket provkropparna hade torkat när de användes i försöken. En felkälla hos försöket med sorptionsvågen kan vara att  $dm/dt$  har påverkat den data som användes vid framtagningen av termerna  $dc/dt$  och  $dE/dt^{1/2}$ . Det kan också förklaras av att fel har uppstått i hantering av prov och problem med sorptionsvågens noggrannhet.

Fukttransportkoefficienten för den snabbtorkande avjämningsmassan visas i Figur 60. Till vänster i figuren visas resultatet från koppförsöken och till höger visas resultatet från sorptionsvågen.



Figur 60. Diagram med framtagen fukttransportkoefficient för snabbtorkande avjämningsmassa beroende av RF. Till vänster: Framtagen med koppförsök. Till höger: Framtagen med sorptionsvåg.

Fukttransportkoefficienten framtagen med både koppförsök och sorptionsvåg följer typutseendet för fukttransportkoefficienten, d.v.s. låga värden för låga RF-nivåer och höga värden för höga RF-nivåer. Mellan de två metoderna var resultatet slående likt vilket ger stöd för bra mätningar.

Värden för den normaltorkande avjämningsmassans fukttransportkoefficient förkastat och i fuktmodellen beräknades uttorkning enbart för snabbtorkande avjämningsmassor på grund av att resultaten för den snabbtorkande blev väldigt bra.

### 7.3 Mögelpåväxt

Proven undersöktes okulärt och i mikroskop med 40 gångers förstoring. Analysen beskrivs nedan för respektive provkropp.

#### 15 mm normaltorkande

##### Utan plastfolie

Inget mögel hittades varken på undersidan av avjämningsmassan eller på ovsidan av cTrap på den icke ympade delen av provkroppen.

På den ympade delen hittades väldigt lite mögel på undersidan av avjämningsmassan men ingenting på ovsidan av cTrap. Mögel fanns på polymeren.

##### Med plastfolie

Inget mögel hittades varken på undersidan av avjämningsmassan eller på ovsidan av cTrap på den icke ympade delen av provkroppen.

På den ympade delen av provkroppen hittades lite mögel på undersidan av avjämningsmassan men ingenting hittades på ovsidan av cTrap.

### **25 mm normaltorkande**

#### *Utan plastfolie*

På den icke ympade delen av provkroppen hittades mögel på undersidan av avjämningsmassan men ingenting hittades på ovansidan av cTrap.

Mögel hittades i större omfattning på den ympade delen av provkroppen. Mest mögel sågs på undersidan av avjämningsmassan.

#### *Med plastfolie*

På den icke ympade delen av provkroppen hittades ingen mögelpåväxt.

Mögel hittades på den ympade delen av provkroppen på undersidan av avjämningsmassan, på ovansidan av cTrap samt på polymerskiktet.

### **40 mm normaltorkande**

#### *Utan plastfolie*

På den icke ympade delen av provkroppen hittades mögelpåväxt på många ställen men inte i så stor omfattning. Mögel hittades på undersidan av avjämningsmassan, på ovansidan av cTrap, på polymerskiktet och under hela konstruktionen (d.v.s. mellan cTrap och golv).

På den ympade delen av provkroppen hittades även här mögel på alla de ställen som för den icke ympade delen men i lite större omfattning.

#### *Med plastfolie*

Mögel återfanns på alla delar på den icke ympade delen av provkroppen. Det hittades under konstruktionen (mellan cTrap och golv), på polymerskiktet, på ovansidan av cTrap samt på undersidan av avjämningsmassan. På undersidan av avjämningsmassan och på ovansidan av cTrap kunde även grönfärgat mögel ses okulärt.

På den ympade delen av provkroppen kunde mögel påträffas på alla de ställen som fanns för den icke ympade delen. Skillnaden var att på den ympade delen kunde brunfärgat mögel ses okulärt på undersidan av avjämningsmassan och ovansidan av cTrap.

### **15 mm snabbtorkande**

#### *Utan plastfolie*

Resultatet för denna provkropp var detsamma för både den ympade och icke ympade provbiten. Det hittades inget mögel varken på undersidan av avjämningsmassan eller på ovansidan på cTrap. Det hittades dock lite mögel på polymerskiktet.

#### *Med plastfolie*

Inget mögel kunde hittas varken för denna för den icke ympade delen eller den ympade delen.

### **25 mm snabbtorkande**

#### *Utan plastfolie*

På den icke ympade delen av provkroppen kunde inget mögel hittas förutom på polymerskiktet.

På den ympade delen av provkroppen kunde mögelpåväxt konstateras under avjämningsmassan och på ovansidan av cTrap samt på polymerskiktet.

#### *Med plastfolie*

Mögel konstateras på undersidan av avjämningsmassan samt på polymerskiktet men inte på ovansidan av cTrap på den icke ympade delen av provkroppen.

Vid analysen av den ympade delen av provkroppen konstaterades mögel på undersidan av avjämningsmassan på ovansidan av cTrap samt på polymerskiktet. På undersidan av avjämningsmassan kunde en väl utvecklad konidiebildning ses.

#### **40 mm snabbtorkande**

##### *Utan plastfolie*

Både på den icke ympade delen och den ympade delen av provkroppen kunde mögel konstateras på samma områden. Mögel hittades på undersidan av avjämningsmassan samt på polymerskiktet. Omfattningen var dock större på den ympade delen.

##### *Med plastfolie*

Mögel hittades på samma områden och i samma omfattning för både den icke ympade och den ympade delen av provkroppen. Det kunde konstateras mögelpåväxt på undersidan av avjämningsmassan samt på polymerskiktet. Tabell 12 redovisas resultatet av mögelanalysen enligt SP Metod 4927.

Tabell 12. Ranking av mögelpåväxt på cTrap under avjämningsmassa av olika tjocklek och sort enligt SP Metod 4927.

<b>Tjocklek [mm]</b>	<b>15</b>	<b>25</b>	<b>40</b>
Normaltorkande avjämningsmassa	0	2	2
Normaltorkande avjämningsmassa + ympning	1	3	3
PE-folie + normaltorkande avjämningsmassa	0	0	4
PE-folie + normaltorkande avjämningsmassa + ympning	1	2	4
Snabbtorkande avjämningsmassa	0	0	1
Snabbtorkande avjämningsmassa + ympning	0	3	3
PE-folie + snabbtorkande avjämningsmassa	0	2	2
PE-folie + snabbtorkande avjämningsmassa + ympning	0	3	2

Det var svårt att urskilja rätt ranking av mögelpåväxten med god säkerhet om det inte var en hög ranking (3-4) på skalan enligt SP Metod 4927. En möjlig mätosäkerhet kan därför förekomma vid lägre ranking (0-2). Denna osäkerhet kan beskrivas som ett grovt fel. cTrap som har varit under avjämningsmassorna med tjockleken 40 mm har bedömts som 1 till 4 där genomsnittet är 2,6. Då avjämningsmassan är 15 mm tjock återfinns mögel endast i två fall trots att de är ympade med en sporslösning. Generellt finns en mer utbredd tillväxt av mögel vid ympning än i de fall där ingen ympning har gjorts. För provkropparna med tjocklekarna 25 mm och 40 mm är det i många fall en tydlig påväxt av mögel oavsett om de är ympade eller inte. Det går också att urskilja att det är en lite större tendens till mögelpåväxt för den normaltorkande avjämningsmassan än för den snabbtorkande.

På undersidan av cTrap (mot underlaget) var mögelpåväxten i många fall mycket utbredd och bedömdes med god säkerhet utan mikroskop.

I försöken i detta arbete har den luddiga sidan på cTrap lagts uppåt. Enligt föreskrivningarna ska den luddiga sidan läggas mot underlaget. Men med stor sannolikhet hade en rättvänd cTrap inte förändrat resultatet av undersökningen. Det finns två skäl till den bedömningen. Dels är cTrap väldigt genomsläppligt för fukt, vilket innebär att det blir lika fuktigt på båda sidor av cTrap, dels har mögelpåväxt ofta skett på båda sidor av cTrap då mögelpåväxt har påvisats.

## 8 Slutsats

Mögelpåväxt har i många fall skett på cTrap under de förutsättningar som varit i försöken. Ympningen har medfört en ökad påväxt men även utan ympning syns påväxt. De provkroppar som varit fuktigast har haft mer mögelpåväxt vilket medför ökad risk med tjockare avjämning. För provkroppar med endast 15 mm tjocklek har mögelpåväxt konstaterats för två fall utav fyra då ympning har gjorts.

Sammantaget tyder resultaten på att under förutsättning att betongunderlaget rengörs noggrant (som i detta fall med dammsugning) innan cTrap appliceras, i enighet med installationsanvisningarna för cTrap [27], bör en 15 mm avjämningsmassa kunna gjas över cTrap-duken utan att mögelproblem förväntas uppstå.

Uttorkningen har tagit lång tid för avjämningsmassorna vilket gett en hög fuktbelastning för cTrap i flera fall. De provkroppar som har en underliggande fuktspärr har varit fuktigare under de första veckorna. Vid längre uttorkningsförlopp blir provkropparna med underliggande fuktspärr torrare vilket förklaras av fukten i betongunderlaget.

Jämförs uppmätt data för uttorkningen med en icke-stationär fuktmodell syns liknande trender men det är svårt för modellen att utvärdera den uppmätta uttorkningstiden. Modellen gav olika uttorkningstrender för snabb och normaltorkande jämfört med mätningar vilket kan förklaras av modellens begränsningar relaterat till de flertalet parametrar som är involverade.

Metoder för bestämning av fukttransportkoefficient med dels kppförsök och dels sorptionsvåg hade god överensstämmelse med varandra. Med flera provkroppar för varje fuktintervall ökar möjligheten att upptäcka osäkerheter i form av läckage eller andra osäkerheter.





## 9 Förslag till fortsatt forskning

- Provkropparna kan utföras på ett mer optimalt sätt för att undvika felkällor som skålning m.m. som medför ökad uttorkning.
- Följa uttorkningen för ingående provkroppar till kopptester och sorptionsvåg för att eliminera eventuella felmarginaler som noterats vid normaltorkande avjämningsmassa.
- Att ympa på cTraps icke luddiga sida eller ympa på underlaget med cTraps luddiga sida neråt.
- Fler försök med sorptionsvåg och koppförsök för att kunna kvantifiera eventuella osäkerheter.
- Testa fler typer av avjämningsmassor.



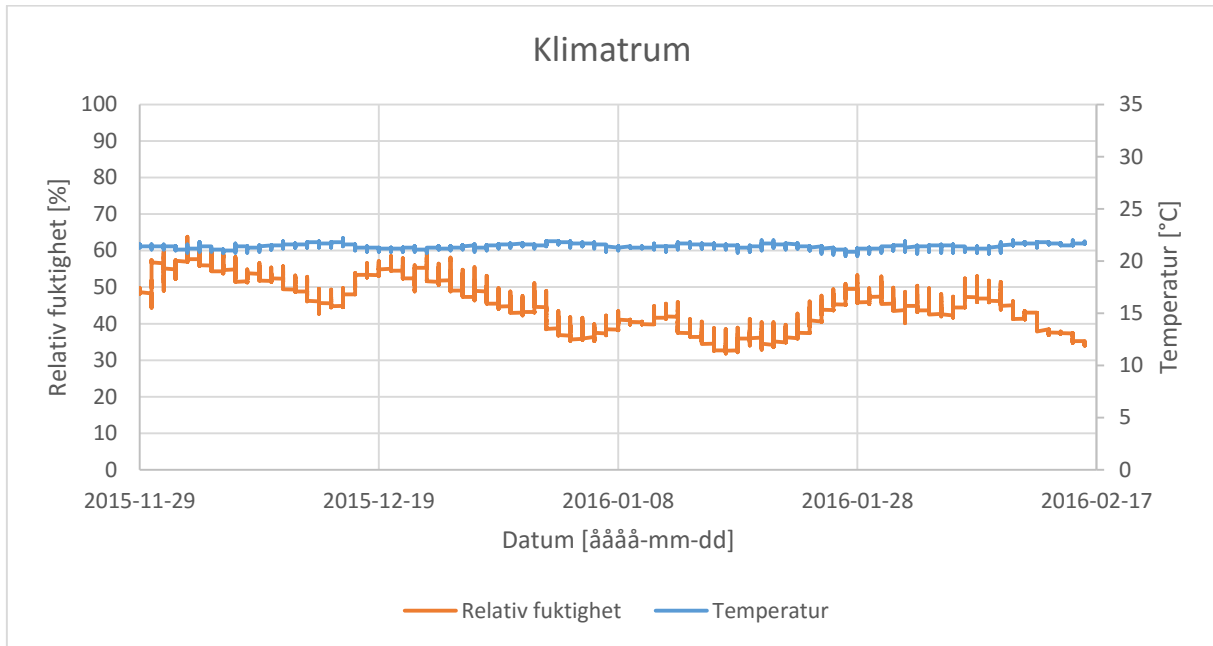
## 10 Referenser

1. **Boverket.** *Så mår våra hus.* Karlskrona : Boverket, 2009.
2. **Mattsson, Johan.** *Mögelsvamp i byggnader - Förekomst, bedömning och åtgärder.* Oslo : Mycoteam, 2004.
3. **Larsson, Lennart och Markowicz, Pawel.** *The surface emissions trap: A new approach in indoor air purification.* 91, 2012, Journal of Microbiological Methods, ss. 290-294.
4. **Mattsson, Johan.** cTrap.se. *cTrap.se - Produkt.* [Online] den 08 12 2015. <http://ctrapp.se/produkt/>.
5. **Wadsö, Lars.** Measurements of vapor resistance of aged ctrap. Lund : Lund University, 2015.
6. **Burström, Per Gunnar.** *Byggnadsmaterial, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper.* Lund : Studentlitteratur AB, 2011.
7. **Nevander, Lars Erik och Elmarsson, Bengt.** *Fukthandbok - Praktik och teori.* Stockholm : AB Svensk Byggtjänst, 2006.
8. **Åhs, Magnus.** *Redistribution of moisture and ions in cement based materials.* Lund : Lunds Universitet, 2011. TVBM-1028.
9. **Sjöbeck, Henrik.** *Saltfrostskaadors tidsberoende vid låg temperatur på betong med tillsatsmaterial.* Lund : Lunds Tekniska Högskola Avd. Byggnadsmaterial, 2015. Examensarbete. TVBM-5101.
10. **Grantén, Jörgen.** *Fuktrisker med tjocka avjämningsskikt.* Lund : FuktCom, 2013. SBUF projekt. 12614.
11. **Anderberg, Anders och Wadsö, Lars.** *Method for simultaneous determination of the sorption isotherm and the diffusivity of cement-based materials.* 1, Januari 2008, Cement and Concrete Research, Vol. 38, ss. 89-94.
12. **Nielsen, K.F., o.a.** Production of mycotoxins on artificially and naturally infested building materials. *Mycopathologia.* den 9 Juni 1999, ss. 43-56.
13. **Johansson, Pernilla.** *Critical Moisture Conditions for Mould Growth on Building Materials.* Byggnadsfysik, Bygg- och Miljöteknologi. Lund : Lunds Universitet, 2012. TVBH-3051.
14. **The University of Adelaide.** Mycology - The University of Adelaide. *The University of Adelaide.* [Online] [Citat: den 27 Januari 2016.] [http://www.mycology.adelaide.edu.au/Fungal\\_Descriptions/Hyphomycetes\\_\(hyaline\)/Aspergillus/niger.html](http://www.mycology.adelaide.edu.au/Fungal_Descriptions/Hyphomycetes_(hyaline)/Aspergillus/niger.html).
15. **Golvbranschen, GBR.** *golvbranschen.se. golvbranschen.se - Branschstandard för RF-mätning.* [Online] Utgåva 1, 2010. [Citat: den 11 November 2015.] <https://www.golvbranschen.se/radriktlinjer/rekommendationer-for-golvavjamning/branschstandard-for-rf-matning>.
16. **Hedenblad, Göran.** *Uttorkning av byggfukt i betong - Torktider och fuktmätning.* Stockholm : Byggeforskningsrådet, 1999.
17. **Sveriges Byggindustrier.** *Mätosäkerhetsberäkningar för relativ fuktighet i betong.* Stockholm : Sveriges Byggindustrier, 1999.
18. **Saint-Gobain Sweden AB, Weber.** Produktblad - weber.floor 140 Nova - Weber. [Online] Saint-Gobain Sweden AB, Weber, den 01 Mars 2016. [Citat: den 01 Mars 2016.] [http://www.weber.se/uploads/tx\\_weberproductpage/printable\\_sheet\\_weber\\_floor\\_140\\_Nova.pdf](http://www.weber.se/uploads/tx_weberproductpage/printable_sheet_weber_floor_140_Nova.pdf).

19. **Saint-Gobain Byggprodukter AB, Weber.** Produktdatablad - weber.floor 120 Reno DR - Weber. [Online] Saint-Gobain Byggprodukter AB, Weber, den 07 December 2015. [Citat: den 01 Mars 2016.] [http://www.weber.se/uploads/tx\\_weberproductpage/printable\\_sheet\\_weber\\_floor\\_120\\_Reno\\_DR.pdf](http://www.weber.se/uploads/tx_weberproductpage/printable_sheet_weber_floor_120_Reno_DR.pdf).
20. **Saint-Gobain Byggprodukter AB, Weber.** Byggvarudeklaration - weber.floor 140 Nova - Weber. [Online] Saint-Gobain Byggprodukter AB, Weber, den 29 April 2015. [Citat: den 01 Mars 2016.] [http://www.weber.se/uploads/tx\\_weberproductpage/071015\\_BVD\\_3\\_2214\\_2\\_weber.floor\\_140\\_nova.pdf](http://www.weber.se/uploads/tx_weberproductpage/071015_BVD_3_2214_2_weber.floor_140_nova.pdf).
21. **Saint-Gobain Byggprodukter AB, Weber.** Byggvarudeklaration - weber.floor 120 Reno - Weber. [Online] Saint-Gobain Byggprodukter AB, Weber, den 29 April 2015. [Citat: den 01 Mars 2016.] [http://www.weber.se/uploads/tx\\_weberproductpage/071015\\_BVD\\_3\\_2212\\_2\\_weber.floor\\_120\\_reno.pdf](http://www.weber.se/uploads/tx_weberproductpage/071015_BVD_3_2212_2_weber.floor_120_reno.pdf).
22. **Andreasson, Anneli och Persson, Malin.** *Mögeltillväxt på behandlad och modifierad furu.* Helsingborg : LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg, 2013. Examensarbete. THID 5326.
23. **Grantén, Jörgen.** *Mätmetoder för fuktmetning i avjämningsmassor.* Malmö : WSP Environmental, 2008. SBUF Projekt. 11791.
24. **Anderberg, Anders och Wadsö, Lars.** *Moisture in Self-levelling Flooring Compounds. Part 1. Water Vapour Diffusion Coefficients.* 2, Lund : Lunds Institute of Technology, 2004, Nordic Concrete Research, Vol. 32, ss. 3-15.
25. **Anderberg, Anders.** *Studies of moisture and alkalinity in self-levelling flooring compounds.* Lund : Division of Building Materials, Lund Institute of Technology, 2007.
26. **Löfgren, Peter.** rbk.nu. *rbk.nu - Fuktmättningsmanual - Betong.* [Online] den 11 Juni 2010. [http://www.rbk.nu/ladda-ner--bestall/fuktmatningsmanual\\_\\_36](http://www.rbk.nu/ladda-ner--bestall/fuktmatningsmanual__36).
27. **Wadsö, Lars.** *Construction Materials Science.* Lund : KFS AB, 2014.

# 11 Bilaga

I Figur 61 visas det loggade klimatet från klimatrumsrummet där gjutningen gjordes av provkropparna för mögelanalys och undersökning av avjämningsmassornas uttorkningsförlopp. På vänster y-axel visas RF, på höger y-axel visas temperaturen och på x-axeln visas datum för mätpunkter.



Figur 61. Temperatur och RF i rummet där provkropparna gjutits.

Material	Element	Sida I	I, yta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II, yta	Sida II
		Avj. Snabåvj.	Snabåvj.	Snabåvj.	Snabåvj.	Snabåvj.	Snabåvj.	Snabåvj.	Snabåvj.	Snabåvj.	Snabåvj.	Snabåvj.	Snabåvj.	Snabåvj.	btg K25
We <sub>50</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	40	40
We <sub>100</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	100	100
We <sub>max</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]				139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	126	126
a, formfaktor				7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6
δ <sub>0</sub> [m <sup>2</sup> /s]				2,0E-07	2,0E-07	2,0E-07	2,0E-07	2,0E-07	2,0E-07	2,0E-07	2,0E-07	2,0E-07	2,0E-07	1,0E-07	1,0E-07
δ <sub>95</sub> [m <sup>2</sup> /s]				5,0E-07	5,0E-07	5,0E-07	5,0E-07	5,0E-07	5,0E-07	5,0E-07	5,0E-07	5,0E-07	5,0E-07	5,0E-06	5,0E-06
δ <sub>100</sub> [m <sup>2</sup> /s]				2,0E-06	2,0E-06	2,0E-06	2,0E-06	2,0E-06	2,0E-06	2,0E-06	2,0E-06	2,0E-06	2,0E-06	6,0E-05	6,0E-05
λ [W/mK]				1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Elementjocklek [m]				0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0100	0,0100
W, initieilt				55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	45,0	45,0
R, övergångsmotstånd [m <sup>2</sup> K/W]			0,06												0,06
Z, övergångsmotstånd [s/m]			60												60

Mellan element	I - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - II
Z, ångspärr [s/m]										0,00E+00	

	Sida I	Sida II	
		alt. 1	alt. 2
T <sub>medel</sub> [°C]	20	20	T <sub>II</sub> [°C]
T <sub>amplirod</sub> [°C]	0	0	Max RF <sub>II</sub>
T <sub>fix</sub> (för T <sub>min</sub> ) [dygn]	0	0	Δv = v <sub>I</sub> - v <sub>II</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
RF <sub>medel</sub>	65,0%	65,0%	0,004
RF <sub>amplirod</sub>			
RF <sub>fix</sub> (för RF <sub>min</sub> ) [dygn]	365	365	
I <sub>medel</sub> [W/m <sup>2</sup> ]	0	0	
I <sub>amplirod</sub> [W/m <sup>2</sup> ]	0	0	
I <sub>fix</sub> (för I <sub>min</sub> ) [dygn]	0	0	

Tid	
Period [dygn]	1
Start i perioden [dygn]	0
Tidssteg, (Δt) [tim]	1
Tid per resultat [tim]	24
Tid totalt [dygn]	93

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0,000	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050				

**Beräkna**

Figur 62. Indataformulär för icke-stationär diffusionsberäkning.