

En metod för mätning av fukt- profiler i betongkonstruktioner

Experimentell utvärdering av OE-metoden

Anders Sjöberg

ISRN: LUTVDG/TVBM--04/3122--SE (1-67)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427
www.byggnadsmaterial.lth.se

Förord

Föreliggande rapport är skriven på avdelningen Byggnadsmaterial vid Lunds tekniska högskola, som även ingår i Fuktcentrum vid Lunds Universitet. Laboratoriedelen av projektet är utförd vid Lunds tekniska högskola och fältmätningarna är utförda av högskolans tekniker i närbelägna byggobjekt.

Innovatör av OE-metoden är Tekn. Lic. Oskar Esping vid Institutionen för Byggnadsteknologi vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Oskar utvecklade OE-metoden och OE-staven i sitt examensarbete på Chalmers under en period åren 2000 – 2001.

En stor del av projektets mätningar i laboratoriet vid LTH har utförts av högskoleingenjörerna Mathias Ohlsson och Marcin Mikolajewski med hjälp av avdelningens tekniska personal. Deras undersökningar har utförts inom ramen för ett examensarbete vid Malmö Högskola, Teknik och Samhälle.

Projektets styrgrupp har haft följande bemanning.

Sven Junkers	Skanska Teknik AB, Göteborg
Joakim Jeppsson	Skanska Teknik AB, Malmö
Lars-Olof Nilsson	LTH, Lund
Oskar Esping	CTH, Göteborg

Projektet har i sin helhet finansierats av SBUF, Svenska Byggbranschens utvecklingsfond.

Lund, december 2004

Tekn.Dr. Anders Sjöberg
Projektledare

Sammanfattning

Den övergripande målsättningen med projektet har varit att utifrån en prototyp av OE-staven ta fram ett fungerande mätsystem som håller jämförbar standard med dagens RF-mätningar. OE-metoden har visat sig uppfylla dessa krav och samtidigt vara ett kraftfullt verktyg för mätningar av RF-profiler i betongkonstruktioner.

OE-metoden lämpar sig bäst att användas i svårbemästrade mätsituationer samt i situationer då man vill ha ett exaktare resultat än det traditionella "mätjupet" ger. Svårbemästrade situationer kan exempelvis uppkomma vid mätningar i konstruktioner med pågjutningar (HD/F m.fl.) eller med golvvärme i drift.

Även vid normala mätningar av fuktnivån i betongkonstruktioner mäts en mer rättvisande fuktnivå med hjälp av OE-metoden. Detta kan användas för att reducera onödig torktid som annars skulle behövas för att komma under gränsvärdet med traditionella mätningar. Genom att använda materialdata för den betong och det ytskikt som valts minskas osäkerheten i utvärderingen markant. Detta gäller speciellt då mätningar görs där torkförloppet "forcerats" med hjälp av värme och/eller avfuktning. I de fallen finns många gånger en extra tillgänglig fuktkapacitet i betongens överyta som kan utnyttjas.

OE-metoden mäter och jämför flera värden intill varandra i en profil och minskar därmed effekten av slumpmässiga fel i mätningen. Detta tillsammans med ovanstående fördelar av att utvärdera en fuktprofil gör att OE-metoden i flera avseenden kan betraktas som mer exakt än traditionella mätningar på ett fastställt mät djup.

Vid jämförande mätningar i labb har OE-metoden uppvisar god överensstämmelse med RBK-godkända metoder. Vid jämförande mätningar i fält är överensstämmelsen inte lika god. Detta kan bero på brister i fältrutinerna och/eller hos transportbehållarna som användes.

OE-metodens utvidgade mätosäkerheten med täckningsfaktor $k=2$ är $\pm 2,9$ % RF.

Projektets experimentella studier av OE-metoden har visat på lovande resultat men det kvarstår fortfarande delar som kan behöva förbättras. Dessa är främst följande tre delar.

Jämviktsfuktkurvan. För att öka noggrannheten i mätningarna bör en specifik jämviktsfuktkurva bestämmas för OE-metoden. Denna bör bland annat speciellt ta hänsyn till OE-stavens förkonditionering samt retarderad sorption.

Jämviktstider. Effekter av tidsförloppet mellan borrning och isättning av OE-staven samt vid jämvikt för OE-staven i mät hålet bör utredas vidare.

Transportbehållare. Som en del i ett fungerande mätsystem för fältbruk bör en anpassad transportbehållare utvecklas.

Det finns idag ingen tillverkare av OE-staven som kan ställa sig bakom en kommersiell lansering av metoden och en ansökan om godkännande enligt system RBK. Men redan i dag kan dock SBUF:s medlemsföretag och andra intresserade parter få tillgång till att prova mätsystemet genom Fuktcentrums försorg. Mätmetod och instrument är inte skyddade med patent eller på annat sätt så vem som helst kan i princip få tillverka sin egen OE-stav.

Summary

The overall aim of this project has been to develop, using a prototype of the OE rod, a functioning measuring system which is of comparable standard to the RH measurements used today. The OE method has been found to satisfy these requirements and at the same time to be a powerful tool for measurements of RH profiles in concrete structures.

The OE method is best suited for use in difficult measuring situations and in situations where more exact results are to be obtained than those possible using the traditional measurements at a certain depth. Difficult measuring situations may for instance be encountered during measurements in structures with toppings (prestressed hollow slabs etc) or with an underfloor heating system.

In normal measurements of moisture level in concrete structures also, a more correct moisture level is measured when the OE method is used. This can be used to reduce unnecessary drying times which would otherwise be needed with traditional measurements to reduce moisture below the limiting value. By using material data for the concrete and finishes selected, the uncertainty in evaluation is considerably reduced. This is particularly the case when measurements are made in materials where the drying process has been "accelerated" by heating and/or dehumidifying. In such cases, there is often an extra available moisture capacity at the top of the concrete which can be utilised.

The OE method measures and compares several readings next to one another along a profile and in this way reduces the effect of random errors in measurements. In view of this, and the above advantages of evaluating a moisture profile, the OE method can in many respects be considered to be more exact than traditional methods at a predetermined measuring depth.

In comparative measurements in the laboratory, the OE method shows good agreement with methods approved by RBK (Council for Competence in Construction). In comparative measurements in the field, agreement is not as good. This may be due to faults in the field procedures and/or the transport containers used.

The expanded measurement uncertainty of the OE method, with the coverage factor $k = 2$, is $\pm 2.9\%$ RH.

Experimental studies of the OE method in the project have shown promising results, but there are still elements that may need improvement. This applies mainly to the following:

Moisture retention curve. In order to increase measurement accuracy, a specific moisture retention curve should be determined for the OE method. This should, inter alia, give special consideration to the preconditioning of the OE rod and to retarded sorption.

Equilibrium periods. The effects of the time that elapses between drilling and insertion of the OE rod, and between insertion of the rod and establishment of equilibrium conditions, should be further investigated.

Transport container. As part of a functioning measuring system for use in the field, an appropriate transport container should be designed.

At present, there is no manufacturer of the OE rod which can support commercial launch of the method and an application for approval according to the RBK system. But the member firms of the Swedish Building Industry Development Fund and other interested parties can already have the measuring system tested through the Moisture Research Centre at Lund University. Neither the measuring method nor the instrument are protected by patent or in any other way, which means that, in principle, anybody can produce their own OE rod.

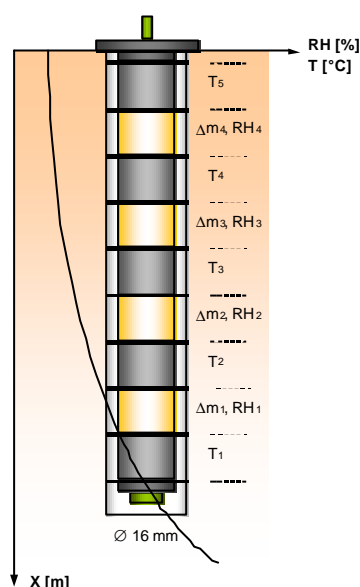
Innehållsförteckning

1. Inledning	3
1.1 Bakgrund	3
1.2 Syfte och målsättning	4
1.3 Begränsningar	4
1.4 Genomförande	4
2. Beskrivning av OE-metoden	5
2.1 Allmänt	5
2.2 Mätmetod	5
2.3 Förkonditionering (kalibrering)	6
2.4 RF-trissor	7
2.5 Temp-trissor	8
3. Temperaturegenskaper	9
3.1 Avsvalningsförlopp	9
3.2 Värmeledningsförmåga	12
4. Jämviktsfuktkurvor	13
4.1 Mätning med sorptionsvåg	13
4.1.1 Utrustning och metod	13
4.1.2 Mätresultat	14
4.1.3 Utvärdering	15
4.2 Temperaturberoende	16
4.2.1 Utrustning och metod	16
4.2.2 Mätresultat	17
4.2.3 Utvärdering	19
5. Dynamiska fuktförlopp	22
5.1 Utrustning och metod	22
5.1.1 Klimatrum och klimatbox	22
5.1.2 Klimatburk	23
5.1.3 Fuktgenerator	23
5.1.4 Torkugn	24
5.1.5 Vågar	24
5.2 Tidsförlopp till jämvikt	24
5.3 Viktminskning i torrare klimat	28
5.3.1 Viktminskning från 75% till 50%	28
5.3.2 Viktminskning från 95% till 45%	29
5.4 Torkförlopp i värmeugn (105°C)	32
5.5 Fuktupptagningen från torrsvikt	33
5.5.1 Fuktupptagning från torrt till 50%	33
5.5.1 Fuktupptagning från torrt till 95%	34
6. Täthet mellan trissor	36
6.1 Ånggenomgångsmotstånd hos neoprengummi	36
6.2 OE-stavens täthet	37
7. Jämförande mätningar på laboratorium	38

7.1	Försöksupplägg och tidschema	38
7.2	Provtagningsplatta	39
7.3	OE-metoden	40
7.3.1	OE-stavens förberedelse	40
7.3.2	Borrning av mäthål	40
7.3.3	Montering av OE-stavarna	41
7.3.4	Jämviktstid	42
7.3.5	Uttagande och avläsning	42
7.3.6	Mätresultat Temperatur	43
7.3.7	Mätresultat RF	43
7.4	Uttaget prov	45
7.4.1	Metod	45
7.4.2	Mätresultat	46
7.5	Kvarsittande givare	47
7.5.1	Metod	47
7.5.2	Mätresultat	47
7.6	Utvärdering av jämförande mätningar i labb	49
8.	Jämförande mätningar i fält	51
8.1	Nygjutet betonggolv	51
8.2	Befintlig betongkonstruktion	53
9.	Utvärdering av fuktnivå i konstruktionen	56
9.1	Genom fastställt mätdjup	56
9.2	Utvärdering av fuktprofil	58
10.	Mätosäkerhet	60
10.1	RF-trissor	60
10.2	Förkonditionering	60
10.3	Hopsättning av OE-stavar	60
10.4	Borrning av mäthål	60
10.5	Transport av OE-stavar och montering i mäthål	60
10.6	Jämviktstid i mät hålet	61
10.7	Hysteres	61
10.8	Läckage mellan RF-trissor	62
10.9	Urtagning samt transport av OE-stavar till mätlab	62
10.10	Temperaturavläsning	62
10.11	Vägning av RF-trissor	63
10.12	Torkning av RF-trissor	63
10.13	Vägning av RF-trissornas torrsvikt	63
10.14	Utvärdering av profilens enskilda värden	63
10.15	Mätning vid annan temperatur än 20°C	64
10.16	Utvärdering av fuktprofilen / 0,4d	64
10.17	Sammanställning	65
11.	Konklusion	66
12.	Referenser	67

1. Inledning

Fuktcentrum vid Lunds Universitet har granskat och undersökt en ny metod för att mäta fukt i betongkonstruktioner. Den nya metoden är döpt till OE-metoden efter innovatören Oskar Esping. Genom en enda mätning med OE-metoden kan en komplett profil för både relativ fuktighet (RF) och temperatur (T) bestämmas i konstruktionen, se figur 1. Profilmätningar används idag bara i riktigt svårbemästrade situationer och är än så länge synnerligen resurskrävande.



Figur 1. Bilden illustrerar principen där den sammansatta OE-staven ställer sig i jämvikt med fuktighet (RF) och temperatur (T) på olika nivåer i borrhålet.

1.1 Bakgrund

Byggfukt i betongkonstruktioner kan ge upphov till fuktskador av olika slag. Det är exempelvis vanligt med fuktskador hos golvkonstruktioner där kvarvarande fukt stängs inne under en tät och fukt känslig golvbeläggning.

För att komma till bukt med fuktproblem i golvkonstruktioner har Rådet för byggkompetens (RBK) ett system med "Auktoriserade Fuktkontrollanter" som bygger på att kontrollanterna får adekvat utbildning och har tillgång till bra mätmetoder. De utbildade fuktkontrollanterna kan mäta fukt i betongbjälklag i de vanligaste förekommande fallen. Men i några speciellt svårbemästrade situationer räcker dock inte RBK-systemet till.

I de svårbemästrade situationerna krävs det ofta att man gör en noggrann mätning av fuktfördelningen genom konstruktionen, en så kallad fuktprofil. Fuktprofilen kan sedan utvärderas för att få fram medelfuktnivån och högsta fuktnivå i konstruktionen efter att ett tätt yttskikt monterats. I den mån dessa profiler mäts idag sker de genom stora, upprepade och omständliga ingrepp i konstruktionen och utvärderingen av resultaten är ofta ofullständig.

Svårbemästrade situationer uppkommer exempelvis vid mätningar i konstruktioner med pågjutningar eller med golvvärmesystem i drift. Pågjutningar är mycket vanligt i samband med prefabricerat byggande där man exempelvis använder pågjutna håldäcksbjälklag (HD/F). Även vid mätning i betongkonstruktioner som haft "onormala" torkförlopp av byggfukt kan det vara en fördel att mäta och utvärdera fuktförhållandet med hjälp av en fuktprofil.

Onormala torkförlopp får till följd att fukten inne i en konstruktionen inte följer normala torkförlopp och därmed blir resultatet av en traditionell mätning mer eller mindre felaktiga. Detta kan inträffa om konstruktionen fått ett oförutsett fuktillskott eller tvärt om att uttorkningen skett med forcerade metoder, exempelvis värme och / eller avfuktning.

1.2 Syfte och målsättning

Den övergripande målsättningen med projektet är att med utgångspunkt från en prototyp ta fram ett fungerande mätsystem för RF-mätningar av fuktprofiler. Mätmetodens prestanda och fördelar likväl som dess svagheter och framtida utvecklingspotential skall identifieras och dokumenteras i en rapport.

Mätsystemet skall kunna finnas tillgängligt för SBUF:s medlemsföretag och andra intresserade parter. Projektledaren åtar sig att ordna så att metoden finns tillgänglig under minst ett år efter rapportens färdigställande.

Rapporten skall kunna utgöra en del av dokumentationen av metoden som krävs för att söka godkännande enligt system RBK.

1.3 Begränsningar

Projektet behandlar endast en metod, OE-metoden. Studierna i laboratoriet är endast utförda under isoterma förhållanden i en temperatur. Mätningarna i fält är utförda under rådande temperaturer. Samtliga mätningar är gjorda i traditionell husbyggnadsbetong.

1.4 Genomförande

Projektet startade med en teoretisk studie av metodens prestanda, onoggrannhet samt framtida möjligheter. En del av arbetet innebar att studera och dokumentera fördelarna med att utvärdera en fuktprofil jämfört med att mäta fukt i en betongkonstruktion på traditionellt vis.

Projektet praktiska mätstudier har utförts i tre steg.

1. Olika faktorer och processer som påverkar metodens prestanda och onoggrannhet har identifierats och dokumenterats. Därefter har de studerats isolerat var för sig i laboratoriet och kvantifierats. Här ingår även arbete utfört av Esping (2001) samt Ohlsson & Mikolajewski (2003).

2. En studie av metodens applicerbarhet i en realistisk mätsituation har skett under kontrollerade förhållanden i en laboratoriehall. Mätningen utfördes i en provplatta med storleken $1,2 \times 0,8$ m, jämförande mätningar utfördes med RBK-godkända metoder. I denna del ingår även arbete utfört av Ohlsson & Mikolajewski (2003).

3. Slutligen har metoden verifierats i fält under verkliga förhållanden. Dessa mätningar har dels skett i en bottenplatta på en byggarbetsplats och dels i en motfylld yttervägg i en nybyggd lagerlokal.

I rapporten används olika begrepp såsom studie, undersökning, försök och mätning. Med studie menas hela arbetet som beskrivs i denna rapport. Begreppet undersökning syftar på de olika undersökningarna i laboratoriet, i fält samt respektive examensarbete. Ett begränsat antal försök ingår i varje undersökning, exempelvis utförde Esping (2001) ett stort antal försök i sin undersökning. I ett försök görs flera mätningar. Exempelvis har mätningar på 32 identiska trissor gjorts under ett enda försök för att kvantifiera ett förlopp.

2. Beskrivning av OE-metoden

Mätmetod bygger på en helt ny typ av instrument som har utvecklats inom ramen för ett examensarbete på Institutionen för byggnadsmaterial vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg, Esping (2001).

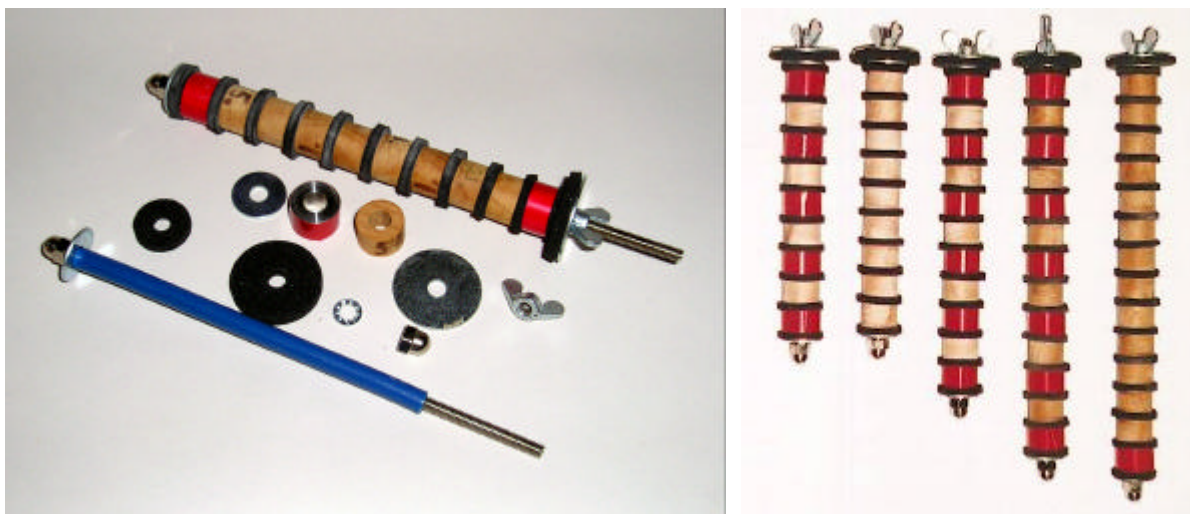
Espings examensarbete "Fuktmätning i byggnadsmaterial med OE-metoden - Utvärdering av en ny utrustning och metodik" utsågs till bästa examensarbete 2001 av Byggmästareföreningen. Dessutom har examensarbetet belönats med 2:a pris i Innovation Cup (distrikfinal) samt utsetts till ett av de tre bästa examensarbetena på ByggOpus 2002.

2.1 Allmänt

Principen för RF-mätningar med OE-metoden är att med hjälp av en sammansatt mätstav bestämma temperatur och RF i ett byggnadsmaterial på flera olika djup i ett borrarat mäthål.

Esping (2001) utvecklade OE-metoden under sitt examensarbete. Rapporten redovisar bland annat ingående parameterstudier av olika delar hos mätinstrumentet, OE-staven. Parameterstudierna syftar till att få fram den bästa utformningen av OE-staven för att öka dess prestanda och därmed minska mätningarnas onoggrannhet.

Bland annat undersöktes en mängd material till trissorna som OE-staven är uppbyggd av. Trissor för att mäta RF är gjorda av trä och trissor för att mäta temperatur är gjord av rostfritt stål och är röda hos de olika sammansättningarna av OE-stavar som visas i figur 2.



Figur 2. Komponenter till en OE-stav samt några olika utföranden. Trissor för att mäta RF är gjorda av trä och de röda trissorerna för temperaturmätning är gjorda av rostfritt stål.

2.2 Mätmetod

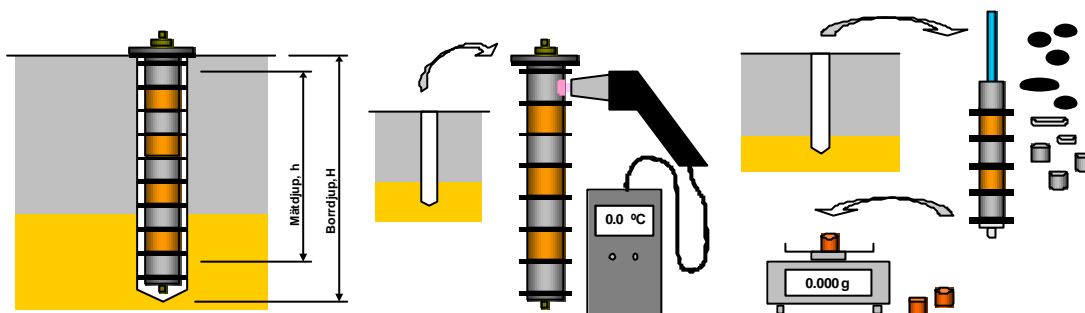
Principen för RF-mätningar med OE-metoden bygger på att med hjälp av en sammansatt mätstav bestämma RF och temperatur i betong på flera olika djup i ett borrarat mäthål.

OE-staven består i princip av en gängad centrumstång som skyddas av ett plastöverdrag. På stängen träs trissor med mellanliggande tätningar av cellgummi.

Efter att OE-staven förkonditionerats monterar man den i ett borrarat mäthål där trissorna efter en tid kommer i jämvikt med omkringliggande betong. Eftersom metoden bygger på att RF-profilen mäts över hela hålets djup behövs inte något foderrör monterat i borrhålet innan monteringen av OE-staven sker. Detta skiljer sig från traditionella mätmetoder där mät hålet måste borraras och fodras tre dagar innan monteringen av givaren kan ske, enligt RBK (2001).

De röda temperaturtrissorna kommer i jämvikt efter en kort tid medan RF-trissorna behöver längre tid på sig, åtminstone någon vecka. Varje trissa känner av medelvärdet av fukt respektive temperatur över 10 mm av borrhålets djup. Mellan trissorna finns tätningar av neoprengummi som sluter an mot mät hålets väggar och hindrar fukt och värme att spridas vertikalt i staven i hålet.

Avläsning av OE-stavarna sker en till två veckor efter att de monterats i betongbjälklaget. Staven demonteras då ur mät hålet och temperaturprofilen avläses direkt på platsen med hjälp av en beröringsfri yttemperaturmätare med IR-teknik, se figur 3. Efter att temperaturen avlästs kan OE-staven stoppas in i ett därför avsett transportrör för att säkert kunna fraktas till ett fuktlaboratorium utan att mätvärdet ändras.



Figur 3. Princip för mätning med OE-metoden. Temperatur mäts med beröringsfri yttemperaturmätare och fukttinnehåll genom vägning av RF-trissorna.

Om man så vill är det möjligt att ta med en bra våg (1/1000g upplösning) till mätplatsen och göra avläsningen av fuktprofilen där. Vid avläsningen av trissorna för RF mäts deras aktuella vikt med 0,001 g noggrannhet och värdena utvärderas mot en fuktupptagningskurva med hänsyn tagen till trissornas individuella torrvikter, figur 3.

Efter att mätningen avslutats kan RF-trissorna återsändas till tillverkaren för att återanvändas om det är möjligt, annars kasseras de helt enkelt. Temperaturtrissorna går att återanvända ett stort antal gånger innan dom är uttjänta.

2.3 Förkonditionering (kalibrering)

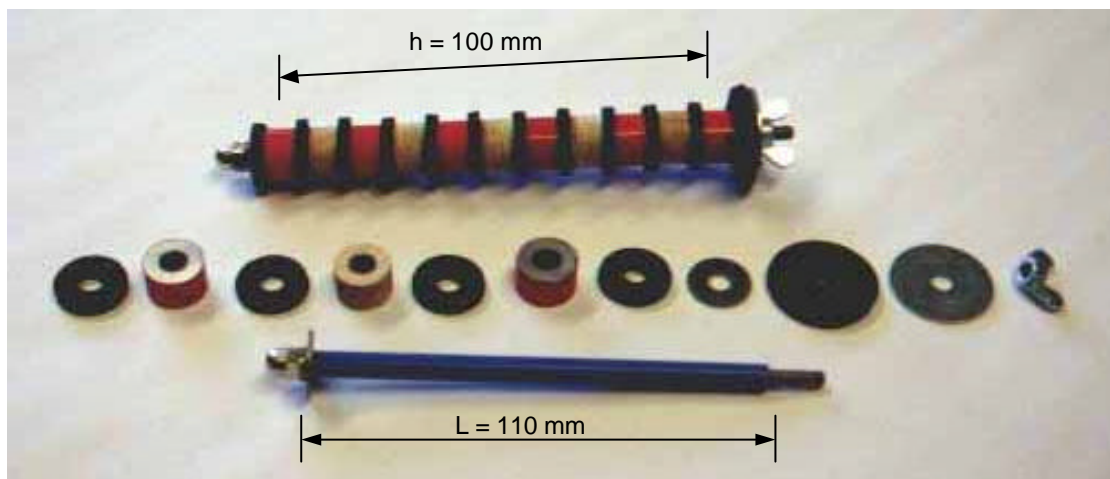
OE-staven behöver inte kalibreras i normal bemärkelse. Däremot måste trissorna för RF-mätning konditioneras innan mätning kan ske. Förkonditioneringen syftar till att ge trissorna ett bestämt och väldefinierat fuktillstånd som ligger till grund för den efterkommande utvärderingen av mätvärdena. Förkonditionering av trissorna sker i två steg och därefter monterar man stavarna och paketeras i tättslutande förpackningar.

Eventuella återanvända RF-trissor måste först granskas ingående med avseende på yttre skador och andra defekter innan de kan förkonditioneras på nytt.

Första steget i konditioneringen består av att torka RF-trissorna till ungefär 50 % RF i en temperaturstabil laboratoriemiljö. Trissorna skall uppnå ett relativt lågt fuktillstånd på ”desorptionskurvan”.

I det andra steget fuktas trissorna upp till exakt 75 % RF i en stabil temperatur av 20°C. Trissorna skall uppnå ett bestämt fuktillstånd på ”absorptionskurvan”.

Efter att RF-trissorna nått en fuktnivå på 75 % RF monteras OE-stavarna samman och paketeras i en fuktät transportförpackning, se figur 4.

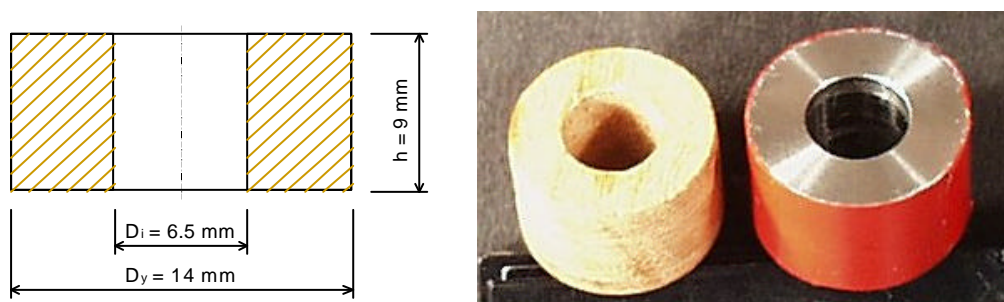


Figur 4. Mätstav för OE-metoden. Sammansatt av provkroppar för fukt- och temperaturmätning med mellanliggande tätningar.

2.4 RF-trissor

RF-trissorna är tillverkade av träslaget bok. Trissorna tillverkas ur kvistfri splintved med fiberriktning vinkelrät mantelytan, se figur 5. Detta ger den bästa fuktabsorptionen under mättiden.

Esping (2001) förundersökte en mängd RF-trissor tillverkade olika material innan valet föll på att använda trä. Därefter utfördes en noggrant kontrollerad studie av fem olika typer av trä-trissor. Bok var det träslag som bäst överensstämmer med mätmetodens krav på fukt-egenskaper och bearbetbarhet. Torrdensitet är uppmätt till $655 \pm 32 \text{ kg/m}^3$.



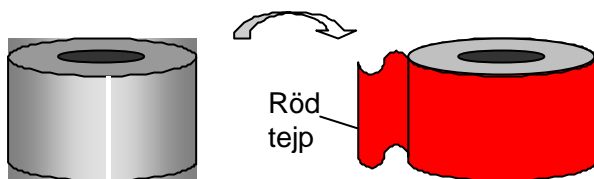
Figur 5. Provkroppens dimensioner.

2.5 Temp-trissor

Temp-trissorna är tillverkade av rostfritt stål (SS2343) vars mantelyta belagts med en röd tejp för att höja och stabilisera emissionsfaktorn, figur 6.

Esping (2001) förundersökte Temp-trissor tillverkade av fyra olika typer av material; rostfritt stål, mässing, koppar och kombination av rostfritt och mässing. Resultatet visade att en tejpad trissa av rostfritt stål hade de överlägset bästa egenskaperna för ändamålet.

De viktigaste materialegenskaperna för Temp-trissan är värmekapacitet, värmekonduktivitet, effektivitetstal samt "temperaturhållning".



Figur 6. Mantelytan tejpas för att erhålla lämplig emissionsfaktor.

3. Temperaturegenskaper

I denna undersökning har temperaturegenskaper hos OE-staven undersökts. Frågeställningarna har varit hur fort Temp-trissorna svalnar när de tas ur ett uppvärmt borrhål samt hur mycket värme som leds i OE-staven.

3.1 Avsvlningsförlopp

Detta försök som utförts av Esping (2001) syftar till att bestämma Temp-trissorna avsvlningsförlopp. Frågeställningen är hur mycket Temp-trissorna hinner svalna efter det att de tas upp ur ett uppvärmt borrhål innan temperaturen lästs av.

Temp-trissorna strävar hela tiden efter att komma i jämvikt med omgivningen. Principen för temperaturmätningar med OE-staven bygger på att jämvikt ställer in sig mellan Temp-trissa och betongen. Därefter kan temperaturen i betongen uppskattas genom en mätning av Temp-trissans temperatur.

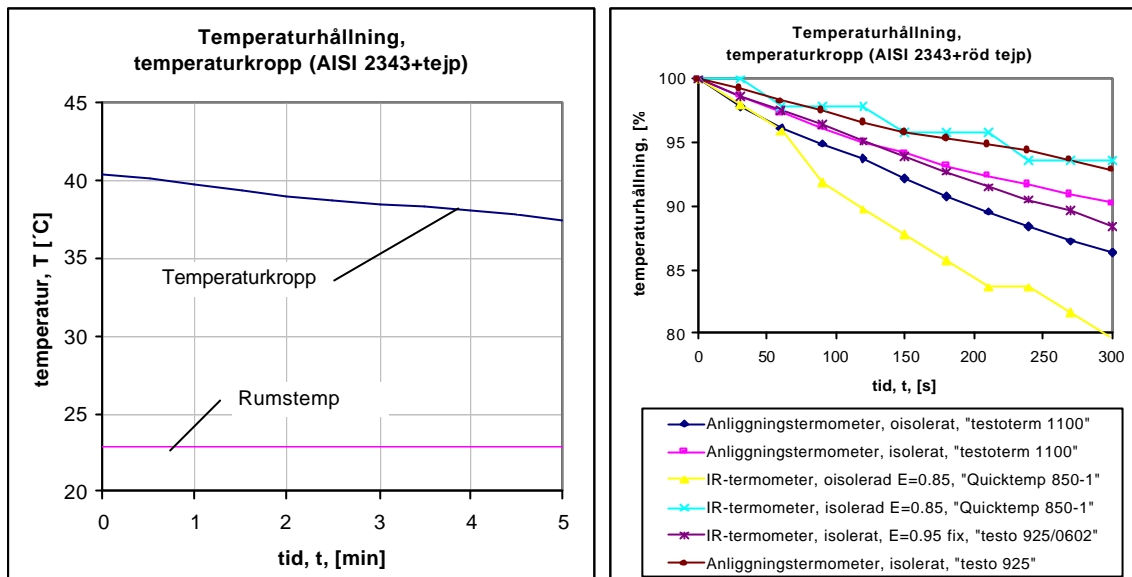
Men trissans strävan att anta samma temperatur som omgivningen medför även en nackdel då den uppvärmda Temp-trissan svalnar i luften då den tas ut ur borrhålet. De två faktorer som påverkar avsvlningsförloppet mest och har studerats av Esping (2001) är;

1. Exponeringstiden från det att mätstaven tas ur borrhålet till det att temperaturavläsningen genomförts.
2. Temperaturskillnaden mellan mätpunkten i betongen och omgivande luft där avläsningen sker.

Esping (2001) har kvantifierat avsvlningsförloppet i rumsklimat, 20°C, för en oisolerad Temp-trissa som värmts upp till 42°C. Den vänstra figur 7 visar hur yttemperaturen hos Temp-trissan sjunker med tiden i konstant rumstemperatur. Temperatursänkningen är ungefär 1,8°C per minut under de första två minuterna och minskar därefter något.

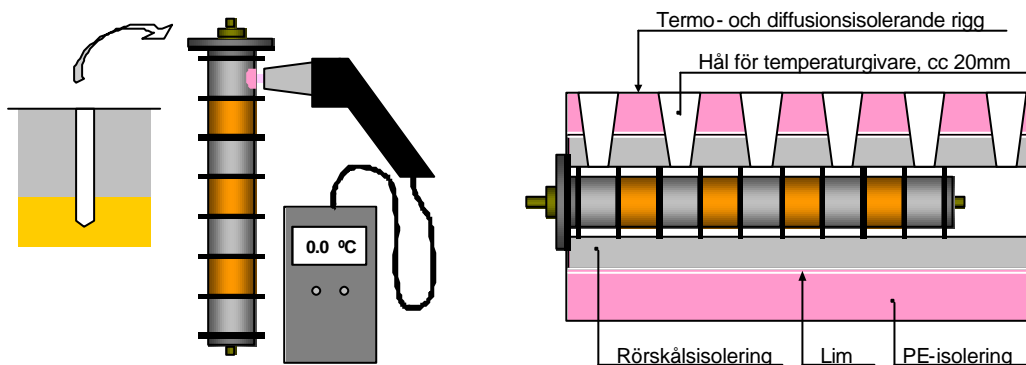
Esping (2001) jämförde även avsvlningsförloppet hos Temp-trissor som avläses på två olika sätt i rumstemperatur med hjälp av fyra olika instrument. Den högra figur 7 visar hur mätvärdet av temperaturen minskar procentuellt sett med tiden i de sex olika fallen som undersökts. Samtliga fyra instrument för mätning av yttemperatur som användes hade en upplösning på 0.1°C och noggrannheten bättre än $\pm 1^\circ\text{C}$:

- Testoterm 1100, en enkel anliggningstermometer
- Testo 925, en snabb anliggningstermometer med liten termisk massa.
- Testo 925/0602, en enkel IR-termometer med fixt emissionstal ($\epsilon=0.95$)
- Quicktemp 850-1, en IR-termometer med lasersikte och varierbart emissionstal



Figur 7. Temperaturhållning hos Temp-trissan avläst med Testo 925 samt jämförelse mellan avläsning med olika metoder. Både isolerade och oisolerade trissor. Esping (2001).

De olika mätsituationerna som användes i studien av avsvalningsförloppet var dels på oisolerade Temp-trissor och dels på isolerade Temp-trissor som direkt efter att de tagits ur värmen lades i en värmeisolerad rigg. Riggens består av värmeisolering i form av så kallade "rörskålar" som utvändigt klätts med PE-isolering, se figur 8. Riggens var försedd med ett antal hål för att komma åt att mäta trissorernas temperatur med det beröringsfria instrumentet Testo 925/0602.



Figur 8. Temperaturmätning av oisolerade trissor samt rigg för temperaturhållning av trissorerna för att minska avsvälningen under mätningen.

Proceduren med temperaturmätningar i riggen visade på lägre avsvalningshastighet enligt resultaten som redovisas i högra figur 7. Dock är användandet av riggen med den nuvarande utformningen inte att rekommendera. Riggens utformning behöver förbättras så att den blir mer användarvänlig vid praktiska mätningar i fält. Synpunkter som förts upp är bland annat att det tar lång tid att montera staven på rätt sätt i riggen så att inget fuktläckage uppstår.

Vid monteringen av OE-staven i riggen hinner dessutom Temp-trissorna svalna så pass mycket innan mätningen kan utföras att ett markant fel uppstår. Detta har dock inte kvantifierats i undersökningen. Det totala felet kan därför bli större vid montering i riggen än om temperaturen lästes av direkt på den oisolerade staven. Dessutom kan mer fukt hinna att avgå om OE-staven först skall monteras i riggen och därefter flyttas över till transportförpackningen. Med ett förändrat utförande kan riggen möjligtvis användas för transport av OE-staven till fuktlaboratoriet utan risk för otätheter och fuktläckage.

För avläsning av Temp-trissorna rekommenderas en beröringsfri ytemperaturgivare som bygger på IR-teknik. Två olika instrument var med i undersökningen. IR-termometern Testo 925/0602, vänstra figur 9. Samt Quicktemp 850-1 IR-temperaturmätare. Båda dessa instrument är lätthanvända och ger goda resultat den första minuten efter att OE-staven tagits ur hålet. Observera att riggen endast var avsedd för användning av Testo 925/0602.

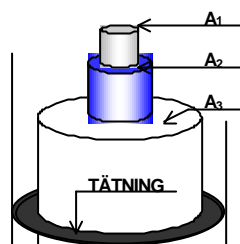


Figur 9. Testo 925/0602 samt en beröringsfri ytemperaturgivare med IR-teknik, samt Quicktemp 860-T2 (efterföljare till 850-1) IR-temperaturmätare med standardfokus

3.2 Värmeledningsförmåga

Denna teoretiska studie som gjorts av Esping (2001) syftar till att bestämma OE-stavens värmeledningsförmåga. Frågeställningen är hur mycket värme staven leder i förhållande till omgivande betong.

Genom att vikta samman de enskilda materialens värmekonduktivitet (λ) i den sammansatta OE-staven, så kan den totala genomsläpplighet (λ_{TOT}) i längdriktningen bestämmas, se figur 10. Målet är att dessa egenskaper är likvärdiga med materialets som mätningarna skall utföras i.



Figur 10. Tvärsnittet för den sammansatta provstavens area för beräkning av värmekonduktiviteten i längsriktning. A1 är arean av gängstången, A2 plastslangen och A3 provkroppen

Eftersom provkropparna (A_3) avskiljs termiskt med neoprenegummitätning antas denna värmeledning kunna försummas. Värmetransporten beräknas därför ske genom plastslangen (A_2) och gängstången (A_1).

Figur 10 illustreras de olika tvärsnittsareorna. Plastslangen är av typen tryckluftsslang tillverkad av PVC med ytterdiameter $D_y=6\text{mm}$ och tjockleken $t=1\text{mm}$. Gängstången är M4 i rostfritt stål, men kan ersättas med M4 i nylon för minskad konduktivitet.

I tabell 1 ges den sammanviktade värme-konduktiviteten per areaenhet (X) för provstaven i längdriktningen. Genom att ersätta M4 gängstången av rostfritt stål med nylon kan värmeledningen minskas.

Värmeledningen för en viss tvärsnittsarea beräknas med ekvation 1.

$$X = I \cdot A \quad [\text{Wm/K}] \quad A = \text{tvärsnittsarea} \quad [\text{m}^2] \quad \text{Ekv 1}$$

$$(\lambda = \text{Värmekond.} \quad [\text{W/m(K)}])$$

Tabell 1. Materialdata för provstavens tvärsnittsarea i längdriktningen.

Material	1. Rostfritt stål, M4 SS2348, AISI316L	2. PVC - slang ($t=1\text{mm}$)	3. Nylon, M4
Egenskap			
Värmekondukt., ? $[\text{W}/(\text{m}^*\text{K})]$	15.0	1.9	1.9
Diameter, D_y [mm]	3.55	6.00	3.55
Area, A [mm ²]	9.9E-4	8.6E-6	9.9E-6
Värmeledn. per A, X [Wm/K]	1.5E-4	1.6E-5	1.9E-5
Kombination	1 + 2		3 + 2
Total X per A, X [Wm/K]	1.6E-4		3.5E-05

4. Jämviktsfuktkurvor

I denna undersökning har RF-trissornas jämviktsfuktkurvor bestämts. RF-trissans totala vatteninnehåll i jämvikt med ett klimat kan beskrivas med en jämviktsfuktkurva. Denna beskriver enkelt uttryckt den mängd vatten som träet i RF-trissan tar upp vid olika RF-nivåer i det omgivande klimatet. Jämviktsfuktkurvan är isoterm vilket innebär att den varierar något med temperaturen.

RF-trissorna strävar alltid efter att komma i jämvikt med omgivningen. Mätprincipen för RF-trissorna i OE-staven bygger på att de tar upp fukt ur omgivningen och fysikaliskt binder en exakt mängd vatten för varje miljö de placeras i. Denna bundna vattenmängd vägs med en precisionsvåg vid avläsning av OE-staven.

I undersökningen har 2 olika metoder använts för att bestämma RF-trissans fuktjämviktskurva. Dessa metoder är dels med hjälp av en sorptionsvåg, och dels med en fuktgenerator och en extern våg.

4.1 Mätning med sorptionsvåg

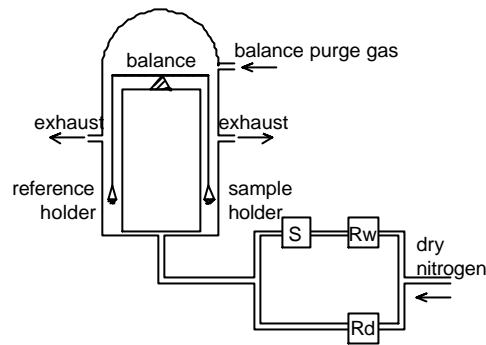
I detta försök har en sorptionsvåg av modellen DVS-1000 från tillverkaren Surface Measurement Systems använts för att bestämma RF-trissans jämviktsfuktkurva vid 20°C. Sorptionsvågen kan både generera en omgivande fuktnivå med hög precision och mäta fuktupptagningen hos materialet med stor noggrannhet. Detta är av stor vikt vid utvärdering av fuktjämviktskurvor.

4.1.1 Utrustning och metod

Endast en liten provmängd kan studeras i taget med sorptionsvågen. I undersökningen var provet en liten bit av trissan som ungefär motsvarade en kub med 5 mm sida (ungefär 63 mg). Provmaterialet placerades i den ena vågskålen på balansvågen inne i sorptionsvågen. Den andra vågskål lämnades tom som referens. Se figur 11.

Då fuktnivån i luften kring provet ändras tar provmaterialet upp eller avger fukt för att komma i jämvikt med den nya fuktnivån. Fuktnivån i luften som passerar de båda skålarna i sorptionsvågen kan regleras steglöst i intervallet 0 – 98 % RF med 1 %-enhets noggrannhet. Balansvågen mäter kontinuerligt provmaterialets vikt och därmed kan materialets fuktinnehåll utvärderas vid varje jämviktsnivå. Vågens upplösning är 0,1 µg och mätområdet 150 mg. Sorptionsvågen har sitt arbetsområde i intervallet 0 – 48 °C.

Sorptionsvågens funktion och de generella metoder som använts för denna studie beskrivs utförligt av Williams (1994) samt Wadsö & Markova (2001).



Figur 11. Sorptionsvåg DVS-1000 från tillverkaren Surface Measurement Systems.
Principskiss av komponenter och flöden i DVS.

Förloppet hos temperatur och RF omkring vågskålarna kan förprogrammeras på tre olika sätt. Antingen konstant värde, stegvis förändring (trappa) eller successiv förändring (ramp).

Mätningen av RF-trissans gjordes i en trappsekvens av 50 – 60 – 75 – 85 – 90 – 95 – 97 – 95 – 90 – 85 – 75 – 60 % RF. Se figur 10.

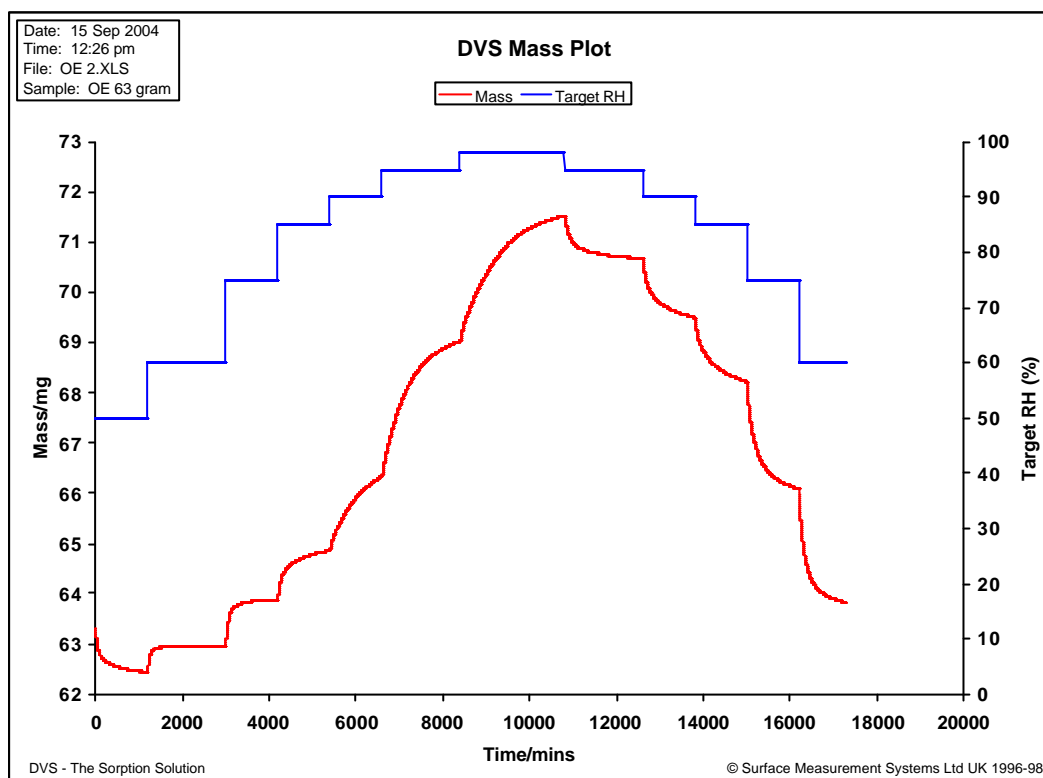
4.1.2 Mätresultat

Styrvärdena och de erhållna mätvärdena registreras kontinuerligt och lagras elektroniskt i en fil på mätdatorns hårddisk. Styrsekvensen för fuktnivån har formen av en ”RF-trappa” vilken redovisas som den övre grafen i figur 12. Temperaturen var konstant 20°C under mätningen.

Mätresultatet från denna mätning presenteras i form av en vikt-graf som redovisas i den undre grafen i figur 12. Notera det böjda insvängningsförloppet till jämvikt som endast har slutförts för två steg till vänster i figuren. I de övriga fallen där jämvikt ej ännu inställt sig kan det slutliga jämviktstillståndet utvärderas genom att insvängningsförloppet anpassa till en exponentialfunktion med minsta kvadratmetoden, ekvation 2.

Utvärdering av insvängningsförlopp

$m(t) = m_0 + (m_f - m_0)e^{-k(t-t_0)}$	[kg]	Ekv 2
t_0 = starttiden för intervallet som skall extrapoleras	[s]	
m_0 = massan vid tiden t_0	[kg]	
t = godtycklig tid i intervallet	[s]	
$m(t)$ = massan vid tiden t	[kg]	
m_f = massan vid jämvikt, eftersökt värde	[kg]	



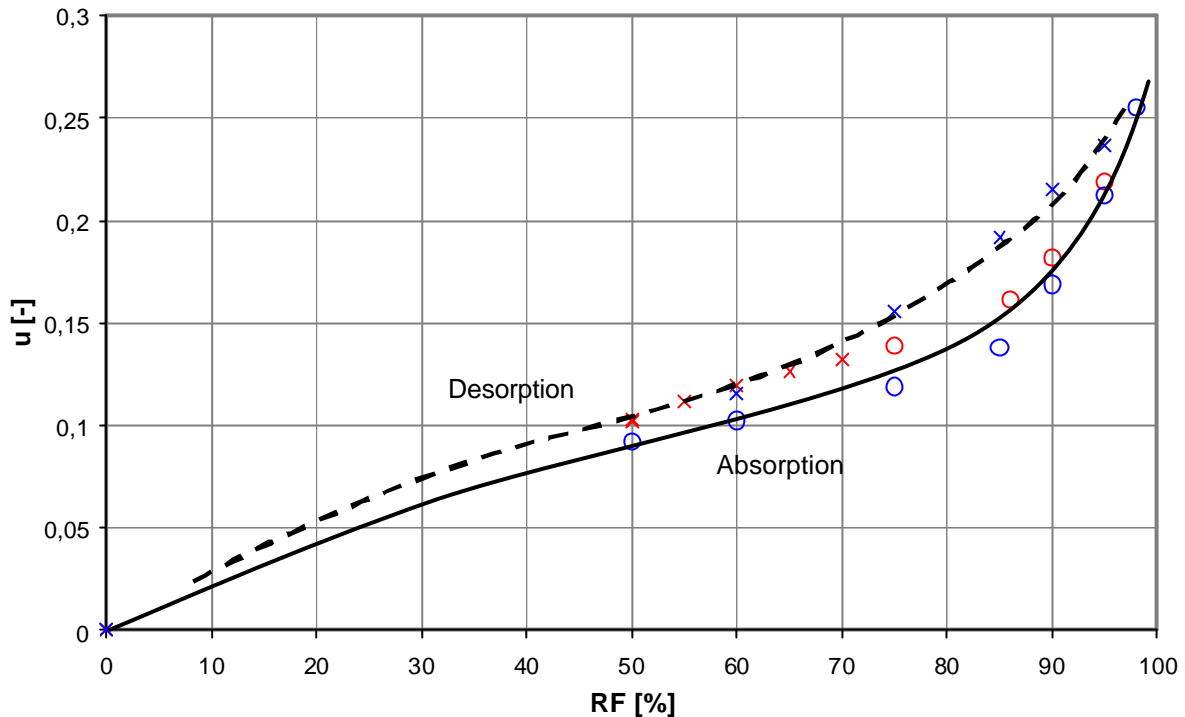
Figur 12. Fuktjämviktskurva (vikt-graf) underst samt omgivande klimats RF-trappa överst.

4.1.3 Utvärdering

De uppmätta jämviktstillstånden för respektive fuktnivå kan sammanställas i en jämviktsfuktkurva. Se figur 13.

En jämviktsfuktkurva består av två kurvor, en för absorption (fuktupptagning) och en för desorption (uttorkning). Skillnaden mellan dessa båda kurvor kallas hysteres och uppkommer på grund av olika typer av fenomen som är orsakade av fuktens bindning till materialets struktur.

Fuktinnehållet i trä beskrivs ofta med fuktkvoten (u) som kan förkortas FK. Denna är förhållandet mellan vatteninnehållet i träet och träets torrsvikt. Fuktkvoten har sorten kg vatten per kg torrt material och kan antingen skrivas sortlös [-], som procent [%] eller med enheten [kg/kg].



Figur 13. Jämviktsfuktkurva för RF-trissa, absorption och desorption.

Ibland kallas jämviktsfuktkurvan även för sorptionskurva, sorptionsisoterm eller något liknande. Begreppet isoterm indikerar att kurvan är temperaturberoende och att den endast gäller för en speciell temperatur.

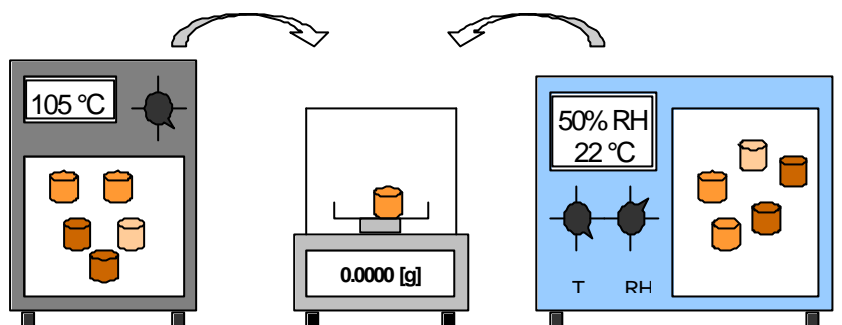
4.2 Temperaturberoende

Försöket syftar till att ta fram jämviktsfuktkurvan för uppfuktning av materialet i RF-trissan vid olika temperaturer inom intervallet 15 – 40°C. I detta försök som utförts av Esping (2001) har en fuktgenerator av modellen Thunder Scientific 2500 använts för att generera jämviktsfuktnivåer. Eftersom fuktgeneratoren inte innehåller någon egen våg har fuktupptagningen mätts med en extern våg.

4.2.1 Utrustning och metod

Ett stort antal provkroppar av samma material som RF-trissan har undersökts av Esping (2001). Storleken på provkropparna som använts i försöket var 9 × 9,3 × 50 mm och materialet var träslaget bok.

Mätningar har utförts enligt torrviktsmetoden, det vill säga med vägning före och efter torkning enligt förfarandet som visas i Figur 14. Proverna torkades först i en ugn vid 105°C till stabil torrsvikt erhöles. Därefter placerades proverna i fuktgeneratoren där avsett klimat i frågan om RF och temperatur genererades. Då proverna kommit i jämvikt avlästes vikten på nytt. Avslutningsvis torkades proverna igen och slutvikten jämfördes med vikten vid den första uttorkningen.



Figur 14. Metodik för att bestämma fuktjämviktskurva för bok. Provkropparna vägs efter torkning i 105°C ugn och efter uppfuktning i fuktgenerator.

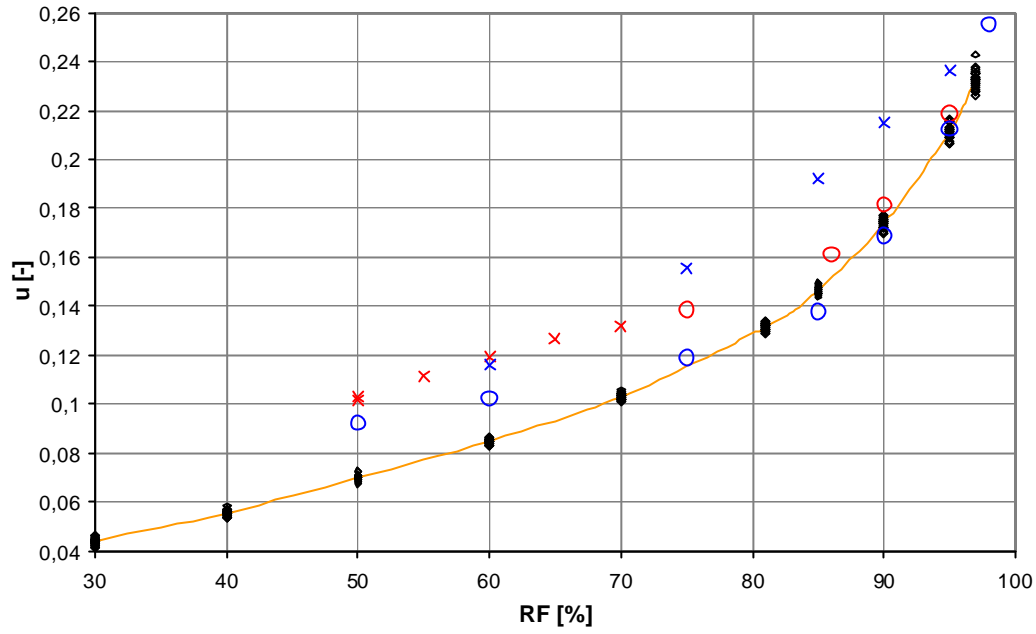
Ovan beskrivna procedur upprepades 6 – 10 gånger, för olika RF, vid varje temperatur. Se tabell 2. Varje mätning bestod av 22 olika provkroppar. Dock bestod mätningarna i 15°C bara av 11 provkroppar, men mätningarna i 20°C bestod av 32 provkroppar.

Tabell 2 Mätpunkter vid bestämning av jämviktsfuktkurvor

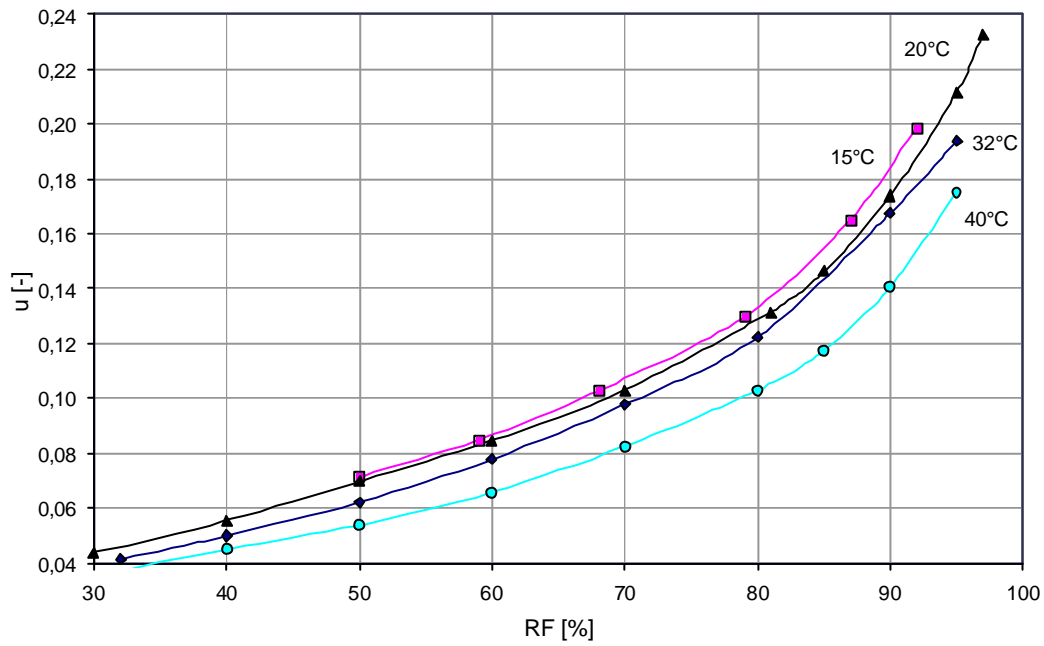
	Fuktnivåer (% RF)									
	30	40	50	60	70	80	85	90	95	97
15°C	-	-	X	X	X	X	-	X	X	-
20°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
32°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
40°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-

4.2.2 Mätresultat

Mätvärdena läses av manuellt vid vägning på den externa vågen. Samtliga mätningar för en mätpunkt (fuktnivå och temperatur) sammanställs och medelvärdesbildas. I figur 15 redovisas samtliga mätvärden vid de 10 fuktnivåerna vid 20°C. Spridning av fuktkropparnas jämviktsfuktkvot (u) ges vid olika RF, standardavvikelsen var som minst 0.001 (kg/kg) vid 30 % RF och som mest 0.004 (kg/kg) vid 95 % RF. I figur 16 redovisas medelvärdena för samtliga mätpunkter vid fyra temperaturer.



Figur 15. Uppmätt jämviktsfuktkurva vid 20°C, samtliga mätvärden. Ringar och kryss markerar uppmätta värden enligt kapitel 4.1.



Figur 16. Uppmätt jämviktsfuktkurva vid fyra temperaturer, medelvärden.

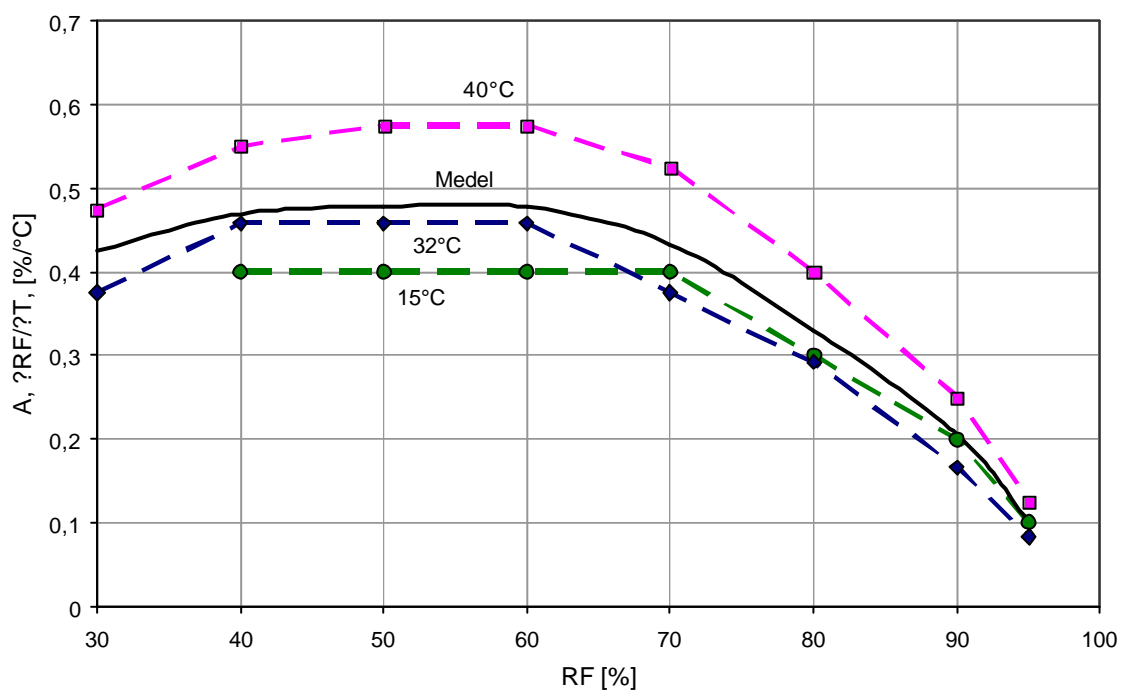
4.2.3 Utvärdering

Temperaturberoendet hos fuktjämviktskurvan kan beskrivas som en funktion av temperatur-differensen från 20°C, se ekvation 3.

Temperaturberoendet hos fuktjämviktskurvan

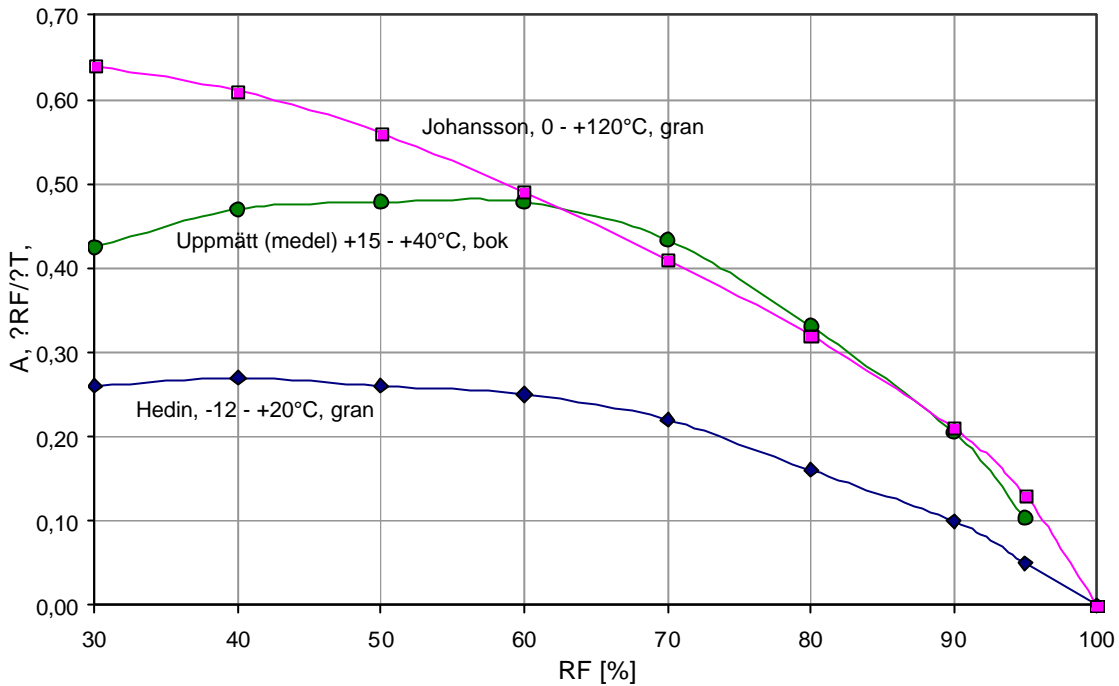
$RF(T) = RF(20) + A \cdot (T - 20)$	[%]	Ekv 3
$RF(T) = RF$ korrigerat för aktuell uppmätt temperatur	[%]	
$RF(20) = RF$ vid 20°C	[%]	
$A =$ Korrektionsfaktor (ur ekvation 3 eller diagram)	[%/°C]	
$T =$ Aktuell (uppmätt) temperatur	[°C]	

Uppmätta avvikelser på grund av fuktjämviktskurvans temperaturberoende redovisas för tre olika temperaturintervall i figur 17. I figur 18 redovisas medelvärdet för de tre avvikelserna tillsammans med resultaten från tidigare studier av Hedlin (1967) och Johansson (1944).



Figur 17. Skillnaden, vid olika temperaturer, i den utvärderade temperaturberoende RF-avvikelsen (A [%/°C]) vid konstant fuktkvot (u).

Värdet för korrektion a som redovisas i figur 17 kan även beräknas med ekvation 4.



Figur 18. Medelvärde av den utvärderade temperaturberoende RF-avvikelsen (A [%/°C]) hos bok vid konstant fuktkvot (u), samt en jämförelse med två tidigare analyser för gran.

Korrektionsfaktor för temperaturberoendet hos fuktjämviktskurvan

$$A = -7 \cdot 10^{-7} \cdot RF(20)^3 - 9 \cdot 10^{-5} \cdot RF(20)^2 + 0.016 \cdot RF(20) \quad [\%] \quad \text{Ekv 4}$$

A = Korrektionsfaktor (se figur 17) [%/°C]

($R^2 = 0,9992$)

Med kurvpassning till mätvärdena som redovisas i figur 17 kan ekvationen för jämviktsfuktkurvan vid absorption vid 20°C bestämmas till följande samband, ekvation 5.

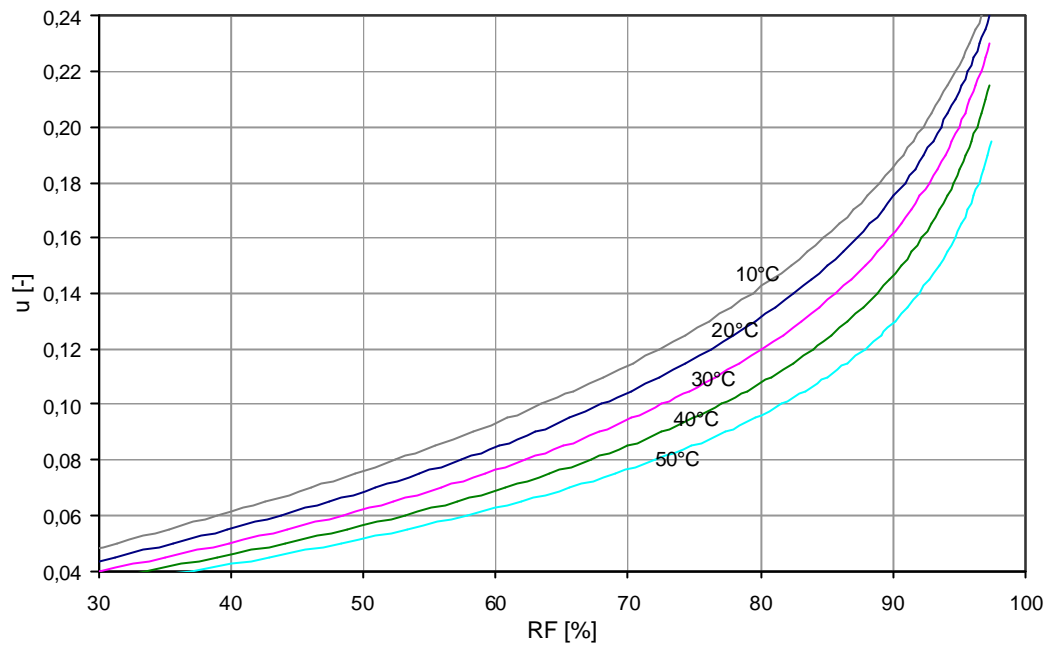
Fuktjämviktskurvans ekvation vid 20°C:

$$RF(20) = -16266 \cdot u^4 + 17210 \cdot u^3 - 7213,3 \cdot u^2 + 1459 \cdot u - 21,3 \quad [\%] \quad \text{Ekv 5}$$

u = fuktkvot (se ekvation 7) [kg/kg]

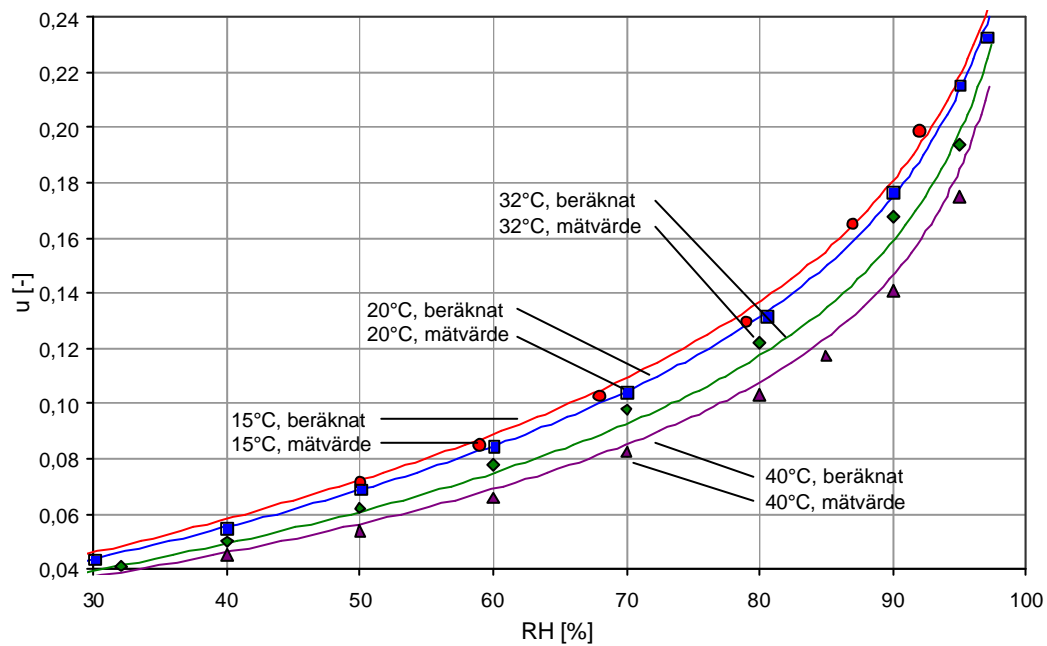
($R^2 = 0,99999$)

Genom att kombinera ekvationerna 3, 4 och 5 kan jämviktsfuktkurvan beräknas för samtliga temperaturer. I figur 19 redovisas jämviktsfuktkurvan för 10, 20, 30, 40 och 50°C



Figur 19. Jämviktsfuktkurvan för bok under hygroskopisk uppfuktning vid 10 - 50°C.

I figur 20 redovisas jämförelse mellan uppmätta värden de teoretiskt framtagna jämviktsfuktkurvorna. Jämförelsen är gjord för fyra olika temperaturer.



Figur 20. Jämförelse mellan uppmätta värden och teoretiska jämviktsfuktkurvor

5. Dynamiska fuktförlopp

I denna undersökning har ett antal dynamiska fuktförlopp hos RF-trissorna studerats och kvantifierats. Frågeställningen var hur stor påverkan egenskaper hos RF-trissorna har på dessa fuktförlopp och hur stor betydelse förloppen har på metodens mätosäkerhet.

Det handlar i de flesta försök om mätningar av tiden till jämvikt i olika situationer. Samtliga situationer förekommer som en naturlig del av mätmetoden antingen under konditionering eller också avläsningen samt i fält under mätsituationen.

5.1 Utrustning och metod

Tre olika metoder har använts för att studera de dynamiska fuktförloppen. De olika metoderna används för att på olika sätt styra klimatet omkring de RF-trissorna som skall studeras. Viktförändringen hos RF-trissorna med avseende på tiden har i samtliga metoder vägts manuellt på en våg med hög precision.

5.1.1 Klimatrum och klimatbox

Några av försöken har utförts direkt i ett klimatstabilt rum med mycket små variationer över tiden. Klimatet i rummet styrs för att vara konstant $20\pm 1^\circ\text{C}$ och $50\pm 2\%$ RF.

Vid förkonditionering av RF-trissorna samt i de försök där ett klimat av 75 % RF behövs har en klimatbox använts. RF hos klimatet i klimatboxen styrs av jämvikten med en mättad saltlösning av natriumklorid (NaCl) och avjoniserat vatten på boxens botten, Greenspan (1977).

Klimatboxen placerades i det klimatstabila rummet. Temperaturen i boxen följde temperaturen i klimatrummet. Boxens utformning framgår av figur 21.



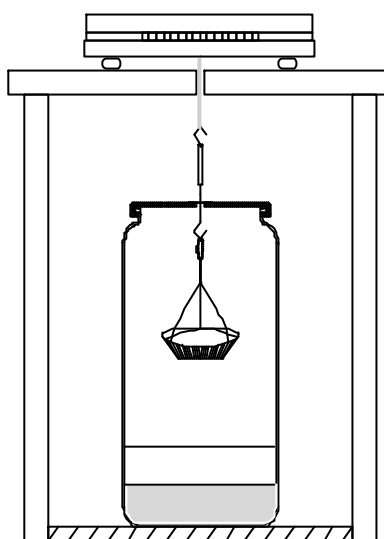
Figur 21. Klimatbox med fläkt.

5.1.2 Klimatburk

Klimatburkar användes för vägning av RF-trissorna i fuktnivåer som skiljer sig från klimatrummet och klimatboxen. Klimatburkarna beskrivs utförligt av Wadsö (1995).

RF i luften i klimatburkarna styrdes på samma sätt som i klimatboxen, av jämvikten med en mättad saltlösning på botten, Greenspan (1977). Klimatburkarna var placerade i klimatrummet som tidigare beskrivits och temperaturen i klimatburkarna följde temperaturen i klimatrummet, det vill säga $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Vid de försök som utförs med klimatburkar spänns RF-trissan fast mellan två stålcyllindrar och hängs upp i en väganordning. Inspänningen syftar till att endast exponera RF-trissornas mantelyta mot fukt vilken motsvarar den verkliga mätsituationen. Upphängningsanordningen är integrerad med burkens lock så att vägning kan ske utan att burken öppnas, se figur 22.

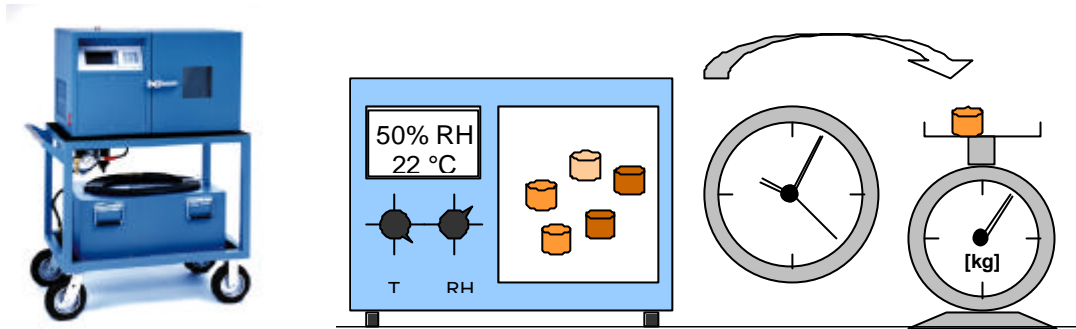


Figur 22. Klimatburk med RF-trissa monterad i upphängningsanordning. Schematisk skiss som visar undervägning med våg av en ”provkropp” i en klimatburk.

5.1.3 Fuktgenerator

I många av de försök som utförts av Esping (2001) har en tvåtrycks fuktgenerator av modellen Thunder Scientific 2500 använts. I fuktgeneratoren kan temperatur och RF genereras oberoende av varandra i intervallen 10 – 95 % RF med en upplösning av 0,02 % RF samt 0°C – 70°C med en upplösning av $0,02^\circ\text{C}$.

Fuktgeneratoren består av en fuktalstrande del som försörjer ett slutet kammare (användarutrymme) med ett klimatiserat luftflöde. Kammaren har storleken $305 \times 305 \times 254$ mm och är åtkomlig genom en dörr på generatorens framsida, se figur 23. Temperaturen i kammaren hålls konstant genom ett tempererat vätskebad som omringgärdar hela kammarens mantelyta, förutom dörren. Kammaren har dubbla väggar med mellanliggande tempererad vätska.



Figur 23. Provkropparnas viktförändring med tiden i precisionsfukt-kammaren registreras.

5.1.4 Torkugn

I de försök där torrvikten av RF-trissorna bestämts har en torkugn använts. Flera olika typer av ugnar har använts i de olika försöken. Ibland kan flera olika ugnar ha använts i samma försök.

Gemensamt för samtliga ugnar är att de varit placerade i normalt inomhusklimat utan extremt fuktillskott. Luftombytet i ugnarna har över lag varit god och ingen av ugnarna som använts har haft någon nämnvärt intern fuktalstring. Samtliga ugnar har haft en temperatur av cirka 105°C.

5.1.5 Vågar

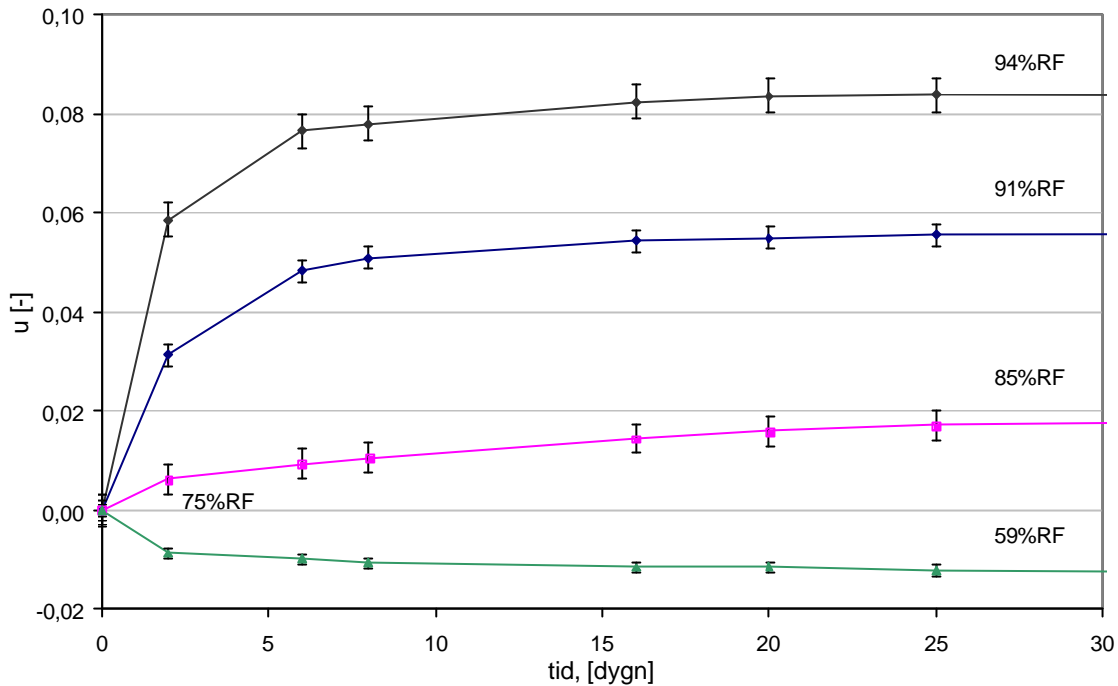
Två olika vågar har använts i denna studie. I undersökningar gjorda av Esping (2001) har en våg av fabrikatet Metler 480 med en upplösning på 0,001g använts.

I övriga undersökningar, de som utförts vid LTH, har en våg av modellen Satorius BP221S med en upplösning på 0,0001g använts.

5.2 Tidsförlopp till jämvikt

Detta försök syftade till att studera tidsförloppet när en RF-trissa ställer sig i jämvikt med en ny RF-nivå. Frågeställningen var hur lång tid det tar för RF-trissa att komma i jämvikt vid en ny fuktnivå som skiljer sig markant från 75 % RF. Anledningen till att 75 % RF använts som utgångsnivå är att RF-trissorna på OE-staven förkonditioneras till 75 % RF.

Innan försöket startade förkonditionerades RF-trissorna till 75 % RF. Därefter monterade RF-trissorna i klimatburkar med hjälp av upphängningsanordningen som beskrivs i kapitel 5.1.2. Vägning av proverna skedde med ett antal dagars intervall den första tiden, se figur 24, därefter gjordes en kontroll av slutvikten efter drygt ett år.



Figur 24. Tidsförloppet då en RF-trissa (75 % RF) ställer sig i jämvikt med ny fuktnivå vid 59, 85, 91 resp. 94 % RF. Standardavvikelse för tre till fyra mätningar per fuktnivå.

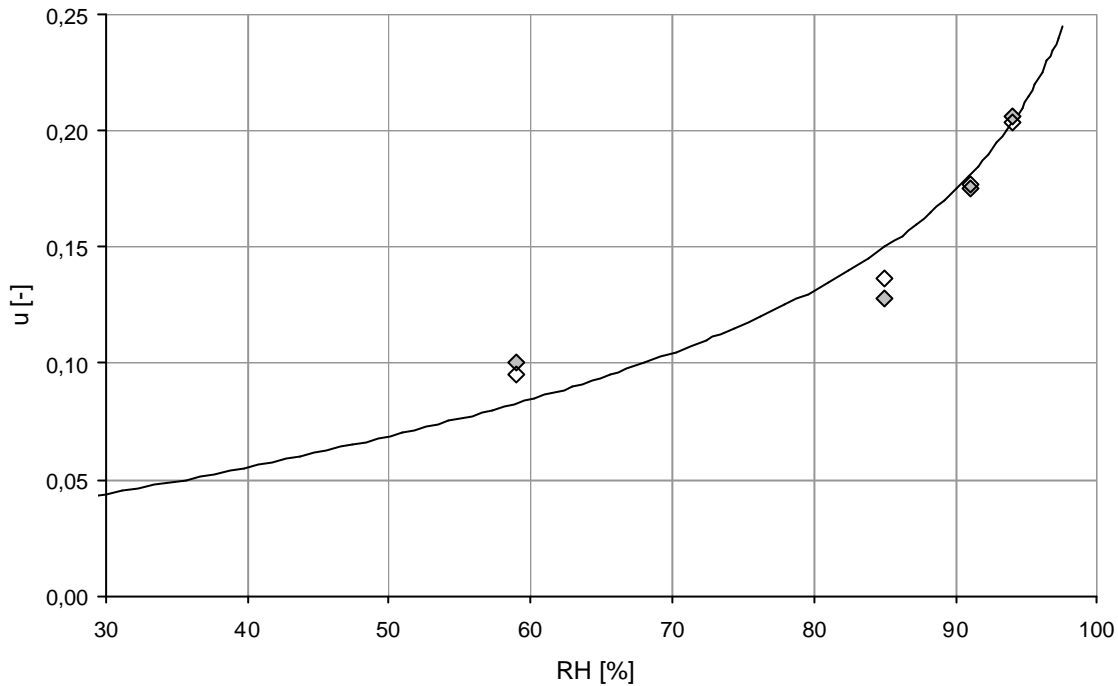
Försöket utfördes med 16 RF-trissor i var sin klimatburk, innehållande fyra olika mättade saltlösningar. Tre av burkarna innehöll en mättad lösning med natriumbromid, NaBr (59 % RF), fyra innehöll kaliumklorid, KCl (85 % RF), fyra innehöll bariumklorid BaCl₂ (91 % RF) och fyra innehöll kaliumnitrat KNO₃ (94 % RF).

Samtliga försök har störst förändring under den första tiden, därefter minskar förändringstakten successivt. Vid 25 dygn har mer än 97 % av den slutliga förändringen skett för RF-trissorerna i 91 och 94 % RF. RF-trissorerna i 59 och 85 % RF har omkring 70 % av den slutliga förändringen skett. Denna skillnad mellan trissorerna är anmärkningsvärd.

Det är sedan tidigare känt att trä kan uppvisa så kallad "retarderad sorption". Det innebär att det tar längre tid för materialet att komma i jämvikt med omgivningen än vad som kan förutses med gängse fukttransportteorier. Ofta verkar den retarderade sorptionen vara större ju mindre förändringen i fuktnivån är. Detta beskrivs i detalj av Wadsö (1993) samt Håkansson (1998).

Fukttillståndet hos RF-trissorerna i 91 och 94 % RF överensstämmer med ekvationen för sorptionskurvan som tecknades i kapitel 4.2. Fukttillståndet för RF-trissorerna i 59 och 85 % RF överensstämmer dock inte lika väl med denna ekvation. Se figur 25.

Ekvationen för sorptionskurvan i kapitel 4.2 gäller för absorption. Fukttillståndet för RF-trissan i 59 % RF ligger sannolikt på övergångskurvan till desorption. Det är rimligt och riktigt att fukttillstånd vid desorption ligger ovanför kurvan för absorption i diagrammet. Dock finns dock ingen direkt förklaring på varför fukttillståndet vid 85 % RF skiljer sig så markant från ekvationen för sorptionskurvan, annat än retarderad sorption.



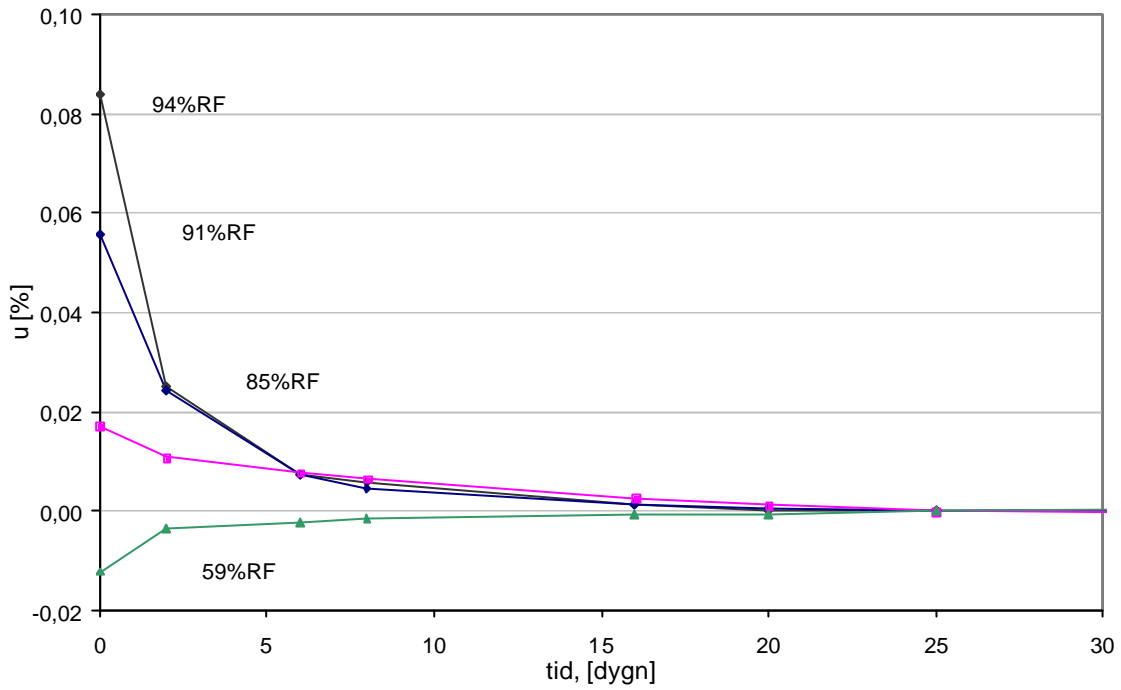
Figur 25. Uppmätt jämviktstillstånd vid fyra olika fuktnivåer. Grå markering motsvarar tillståndet vid 25 dygn och ofylld markering sluttillståndet efter 400 dygn.

Skillnaden i tid till slutlig jämvikt som visas i figur 24 kan eventuellt bero på skillnaden i drivkraft i de olika klimatburkarna. Luftspalten mellan saltlösningen och RF-trissan i burken var ungefär 4 cm. Detta stillastående luftskikt kan medföra ett betydande diffusionsmotstånd som tillsammans med RF-trissans fuktkapacitet kan innebära att det tar lång tid till jämvikt.

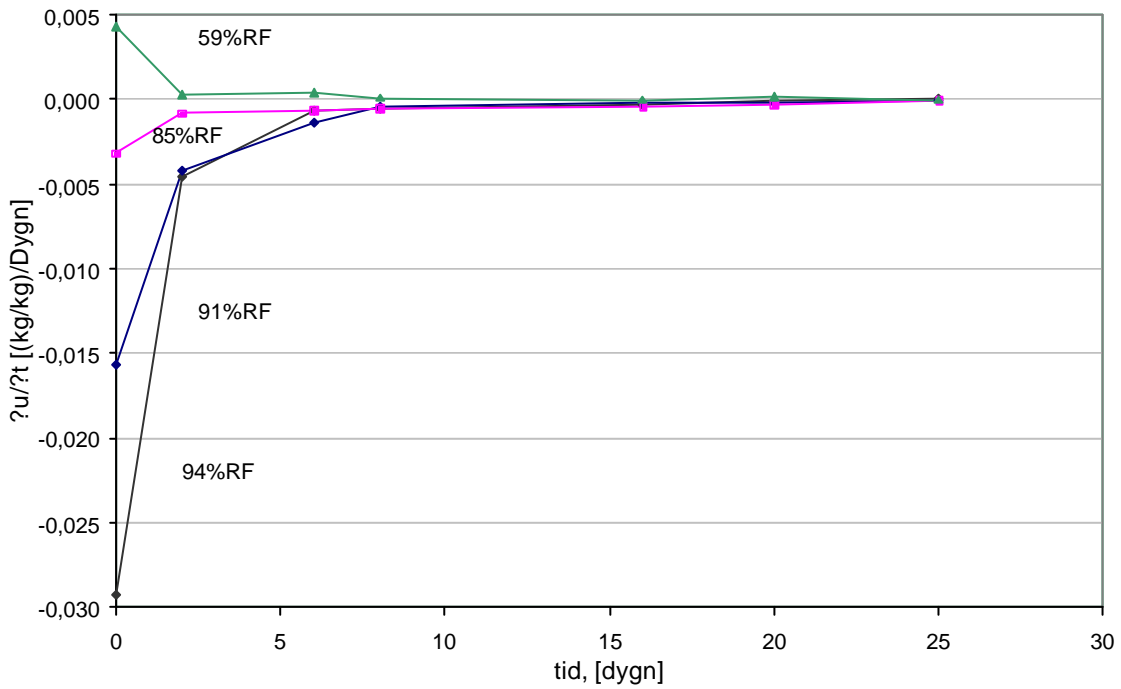
Fukttillståndet i jämvikt efter 25 dygn har använts som en referens vid utvärdering av denna mätning. Den kvarvarande fuktupptagning fram till jämvikten vid 25 dygn visas som en funktion av tiden i figur 24. Redan vid mätningen vid 7 dygn har den mesta förändringen redan skett. Endast cirka 0,01 [kg/kg] kvarstår enligt figur 26, detta motsvarar omkring 1 % fuktkvot (FK). Minskningen av förändringstakten hos fuktupptagning redovisas som en funktion av tiden i figur 27. Även denna reduceras kraftigt under de första 7 dygnen.

Det bör påpekas att det naturligtvis inte är önskvärt att träets retarderade sorption kan påverka mätningar med OE-metoden. Det medför med största sannolikhet en minskad precision i mätningarna och en något större mätosäkerhet.

Det är dock möjligt att kompensera för detta fenomen genom att ta fram en specifik jämviktsfuktkurva för OE-metoden. Denna kan ta hänsyn till den använda tiden för jämvikt samt retarderad sorption vid mätvärden som ligger nära förkonditioneringsnivån.



Figur 26. Kvarvarande fuktupptagning innan slutligt jämviktstillstånd. Startnivå 75 % RF, slutlig fuktnivå 59, 85, 91 respektive 94 % RF.



Figur 27. Fuktförändringen per dygn vid olika tidpunkter under jämviktsförloppet. Startnivå 75 % RF, slutlig fuktnivå 59, 85, 91 respektive 94 % RF.

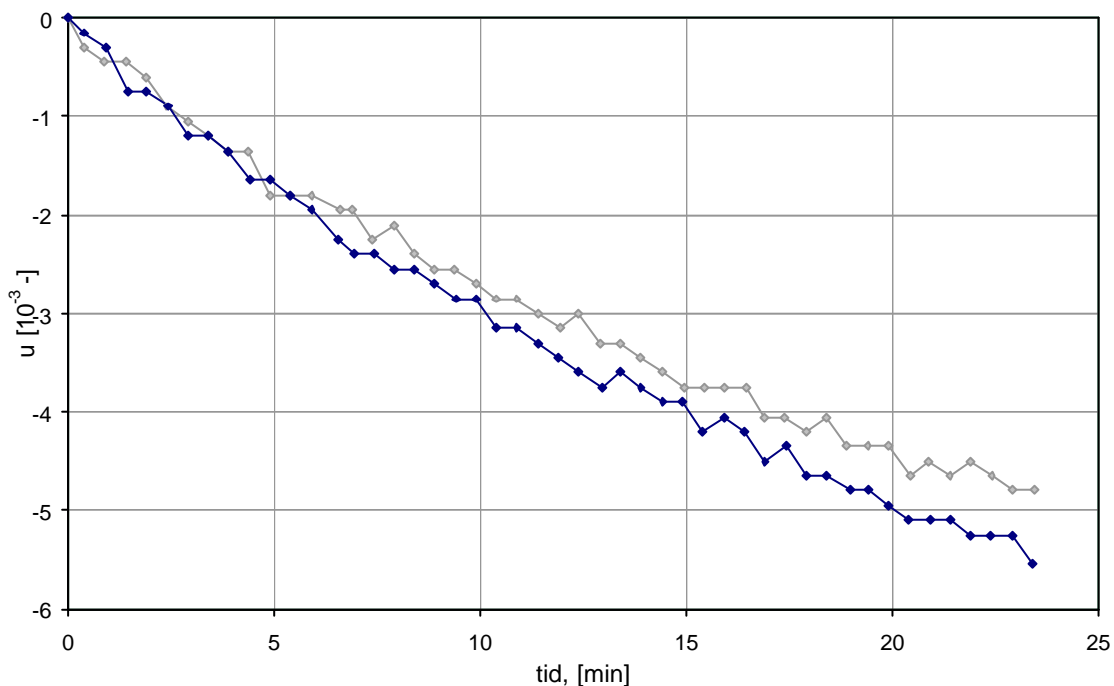
5.3 Viktminskning i torrare klimat

Syftet med försöket var att studera tidsförloppet när RF-trissorna torkar. Frågeställningen var dels hur mycket de förkonditionerade RF-trissorna hinner torka innan OE-staven monterats i mät hålet. Dels hur mycket RF-trissorna hinner torka efter att staven tagits upp ur hålet innan fuktnivån avlästs.

5.3.1 Viktminskning från 75% till 50%

Försöket syftar till att bestämma hur mycket de förkonditionerade RF-trissorna torkar under den tiden det tar att montera OE-staven i mät hålet.

Innan försöket startade förkonditionerades RF-trissorna till 75 % RF. Därefter placerades en RF-trissa på en våg i klimatrummet. Vågen som användes beskrivs i kapitel 5.1.5 och klimatrummet i kapitel 5.1.1. Vägning av RF-trissan skedde kontinuerligt med ungefär 30 sekunders mellanrum i drygt 23 minuter, se figur 28. Därefter upprepades mätningen på samma sätt med en annan, identisk RF-trissa.

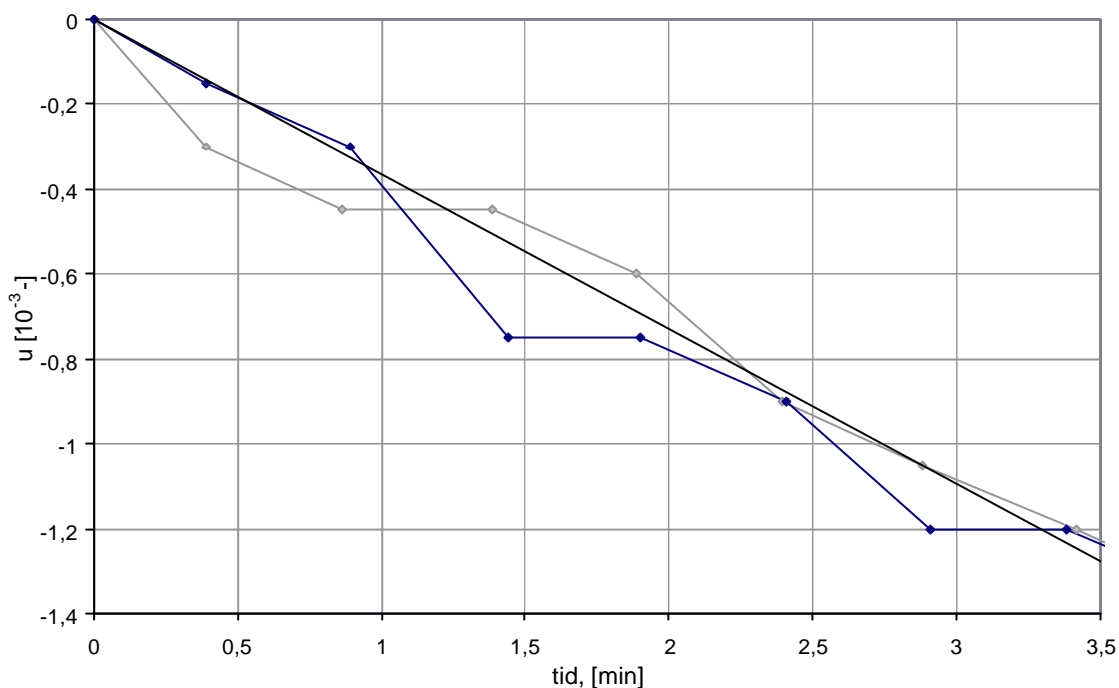


Figur 28. Viktminskning hos RF-trissa vid byte av omgivande klimat från 75 % till 50 %.

Resultaten visar på att RF-trissorna torkar kontinuerligt genom att de tappar vikt. Viktändringen är i samma storleksordning under hela mätningen, omkring $-0,3 \cdot 10^{-3}$ (kg/kg)/min.

Vid montering av OE-stavarna är RF-trissorna exponerade mot omgivande luft endast under en kort tidsperiod. Tiden för att ta ut OE-staven ur transportförpackningen och montera den i det mät hålet är i normala fall mycket kortare än en minut.

Den uppmätta viktändringen under de första minuterna samt det beräknade medelvärdet för perioden redovisas i figur 29.



Figur 29. Viktminskning hos RF-trissa vid byte av omgivande klimat från 75 % till 50 %.

Med kurvpasning till mätvärdena som redovisas i figur 29 kan ekvationen för viktminskningen de första minuterna bestämmas till följande samband i ekvation 6.

Viktminskning vid initiell uttorkning de första minuterna.

$$u = -0,3653 \cdot 10^{-3} \cdot t \quad [\text{kg/kg}] \quad \text{Ekv 6}$$

$$u = \text{Fuktkvot} \quad [\text{kg/kg}]$$

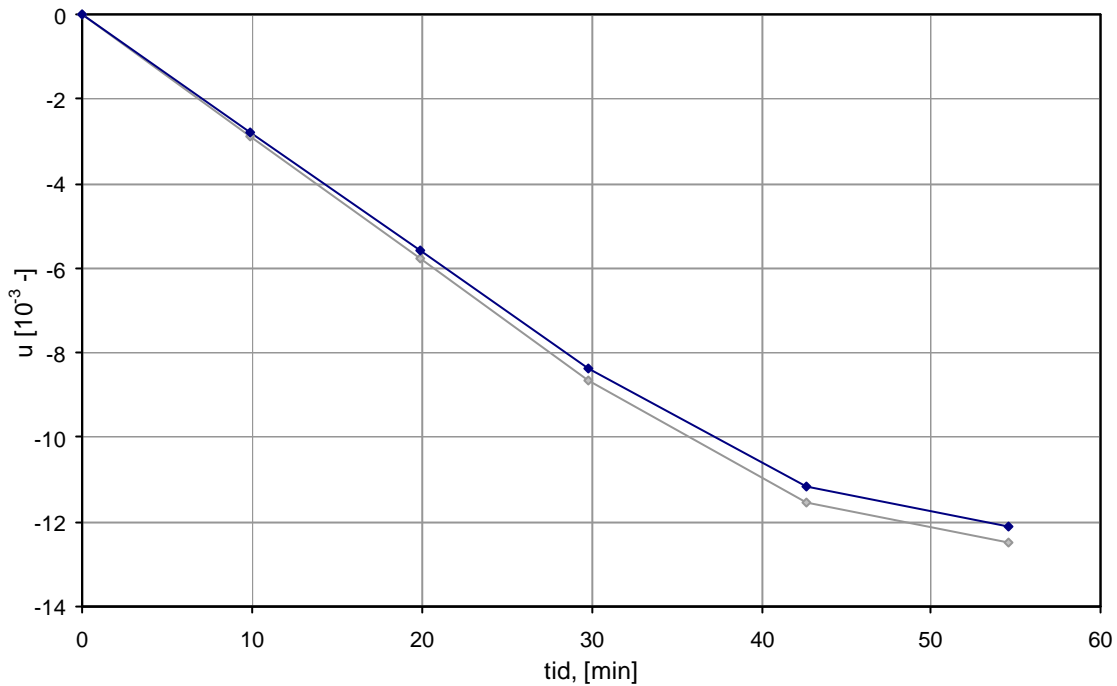
$$t = \text{tid} \quad [\text{minuter}]$$

$$(R^2 = 0,9831)$$

5.3.2 Viktminskning från 95% till 45%

Försöket syftar till att bestämma hur mycket RF-trissor torkar efter att staven tagits upp ur mätålet innan fuktnivån avlästs. Se även Esping (2001).

Innan försöket startade konditionerades RF-trissor till 95 % RF. Därefter placerades två RF-trissor i ett klimatrum. Vågen som användes beskrivs i kapitel 5.1.5 och klimatrummet motsvarar det som beskrivs i kapitel 5.1.1. Vägning av RF-trissor skedde med ungefär 10 minuters mellanrum i knappt en timma, se figur 30.

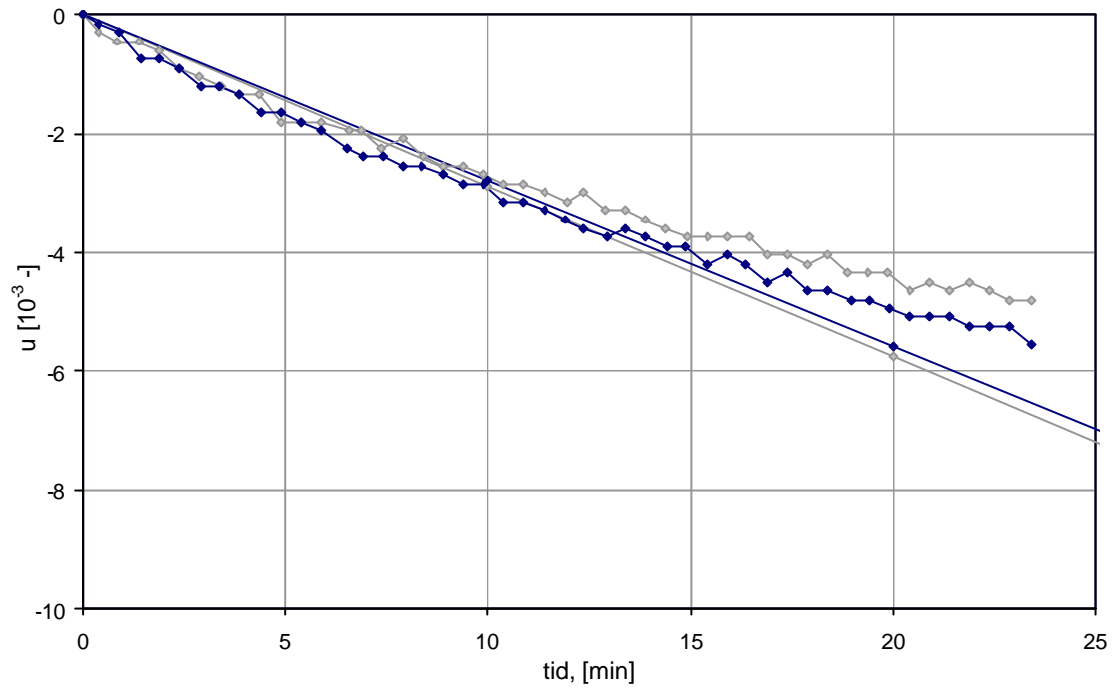


Figur 30. Viktminskning hos RF-trissa vid sänkning av omgivande klimat från 95 % till 45 %.

Även här visar resultaten på att RF-trissorna torkar kontinuerligt genom att de tappar vikt. Viktändringen är i samma storleksordning de första 30 minuterna, omkring $-0,3 \cdot 10^{-3}$ (kg/kg)/min.

Jämför man detta resultat med det som redovisas i kapitel 5.3.1 överensstämmer de med god noggrannhet vid 10 minuter, se figur 31. Efter de första 10 minuterna avtar uttorkningshastigheten något i det här försöket med 75 – 50 % RF förändring, kapitel 5.3.1. Detta fenomen inträder först efter 30 minuter i försöket med 95 – 45 % RF förändring. Detta kan anses som rimligt och riktigt eftersom RF-trissorna i det senare försöket innehåller mer fukt och uttorkningen har större drivkraft på grund av en större stegförändring.

Man kan därför med god noggrannhet använda korrektionsfaktorn som redovisas i kapitel 5.3.1 även för försöken i detta kapitel.

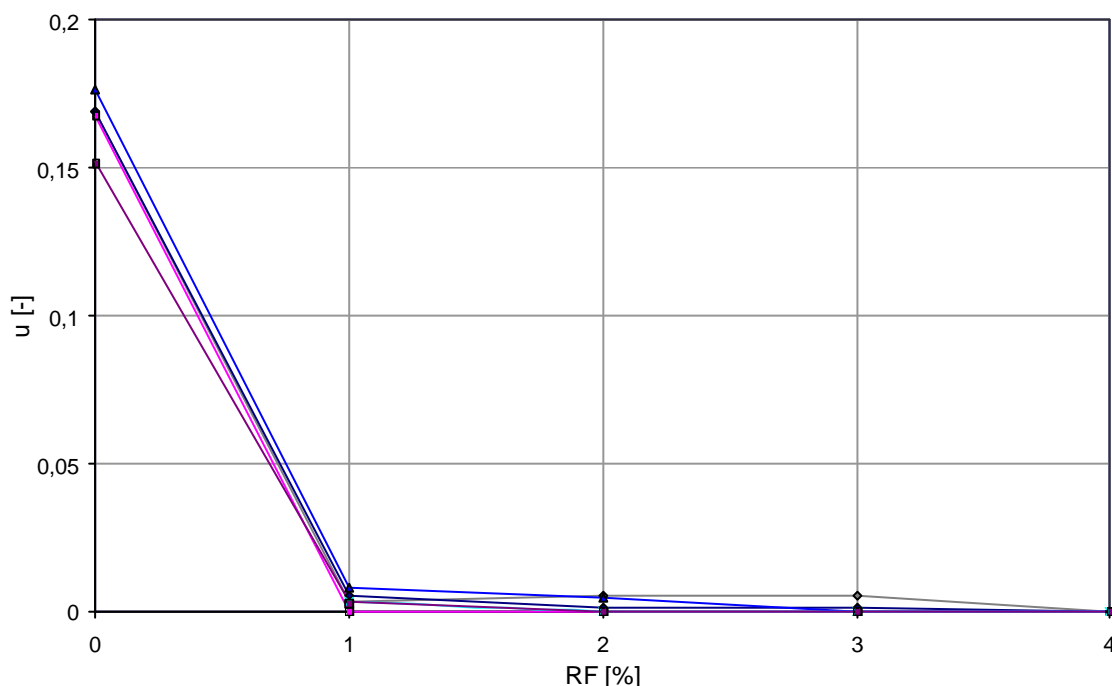


Figur 31. Viktminskning hos RF-trissa vid sänkning av omgivande klimat, jämförelse mellan de två olika försöken.

5.4 Torkförlopp i värmeugn (105°C)

Syftet med försöket var att bestämma erforderlig tid för uttorkning av RF trissor i värmeugn (105°C). Frågeställningen var hur lång tid RF-trissorna behöver vara i ugnen innan deras torrsvikt kan fastställas. Detta är en viktig parameter då RF-trissornas individuella torrsvikt ingår i utvärderingen av mätresultatet.

Innan försöket startade förkonditionerades RF-trissorna till 75 % RF. Därefter vägdes sex RF-trissor innan de placerades i en torkugn. Vågen som användes beskrivs i kapitel 5.1.5 och ugnen beskrivs i kapitel 5.1.4. Vägning av RF-trissorna skedde med ett dygns mellanrum i totalt fyra dygn, se figur 32. I figuren redovisas den mängd fukt som kvarstår att torka ut till sluttillståndet som uppmätts efter 4 dygn.



Figur 32. Kvarvarande fukt att torka ur RF-trissor vid olika tider i 105°C

Ur figur 32 kan utläsas att samtliga RF-trissor är nära sin slutliga torrsvikt redan efter ett dygn. Dock fortsätter uttorkningen ytterligare något de nästkommande dygnen. Efter fyra dygn kan ingen ytterligare uttorkning urskiljas från mätbruset.

Den slutliga torrsvikten kan i dessa sammanhang definieras som vikten efter fyra dagars torkning i värmeugn (105°C). Kvarvarande fukt att torka ur RF-trissorna som en funktion av torktiden i värmeugnen redovisas i tabell 3 .

Tabell 3. Kvarvarande fukt att torka ur RF-trissor.

Kvarvarande fukt	Tid (Dygn)				
	0	1	2	3	4
[kg/kg]	0,167	0,004	0,002	0,001	0
Andel	100%	2,4%	1,2%	0,6%	0%

5.5 Fuktupptagningen från torrsvikt

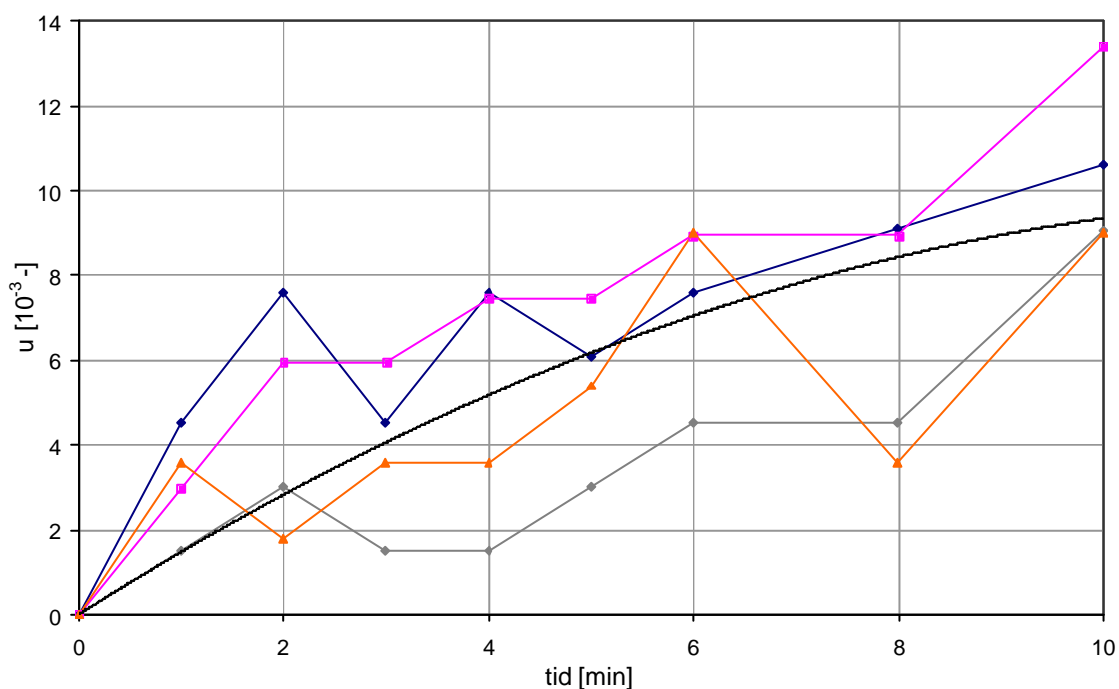
Syftet med försöken var att bestämma förloppet hos fuktupptagningen i RF-trissorna efter det att de torkats i värmeugn (105°C). Frågeställningen var hur mycket fukt RF-trissorna tar upp efter det att de tagits ur värmeugnen och innan deras torrsvikt hunnit vägas.

5.5.1 Fuktupptagning från torrt till 50%

Frågeställningen i detta försök var hur mycket fukt RF-trissorna tar upp i rumsklimat efter det att de tagits ur värmeugnen och innan deras torrsvikt hunnit vägas.

Innan försöket startade förkonditionerades RF-trissorna under ett flertal dygn i en värmeugn. Därefter placerades fyra RF-trissor i klimatrummet där de vägdes kontinuerligt i tio minuter. Vägen som användes beskrivs i kapitel 5.1.5, ugnen beskrivs i kapitel 5.1.4 och klimatrummet i 5.1.1.

Vägning av RF-trissor skedde med ½ - 1 minuts mellanrum under mätperioden, se figur 33. I figuren redovisas den mängd fukt som respektive RF-trissa tagit upp samt ett medelvärde. Ekvation 7 beskriver medelvärdet som redovisas med en graf i figur 33.



Figur 33. Fuktupptagning från torrsvikt de första tio minuterna.

Fuktupptagning från torrsvikt de första minuterna

$$u = -124,33 \cdot t^2 + 2,2091 \cdot t$$

[$\cdot 10^{-3}$ kg/kg] Ekv 7

u = Fuktkvot

[%]

t = tid

[minuter]

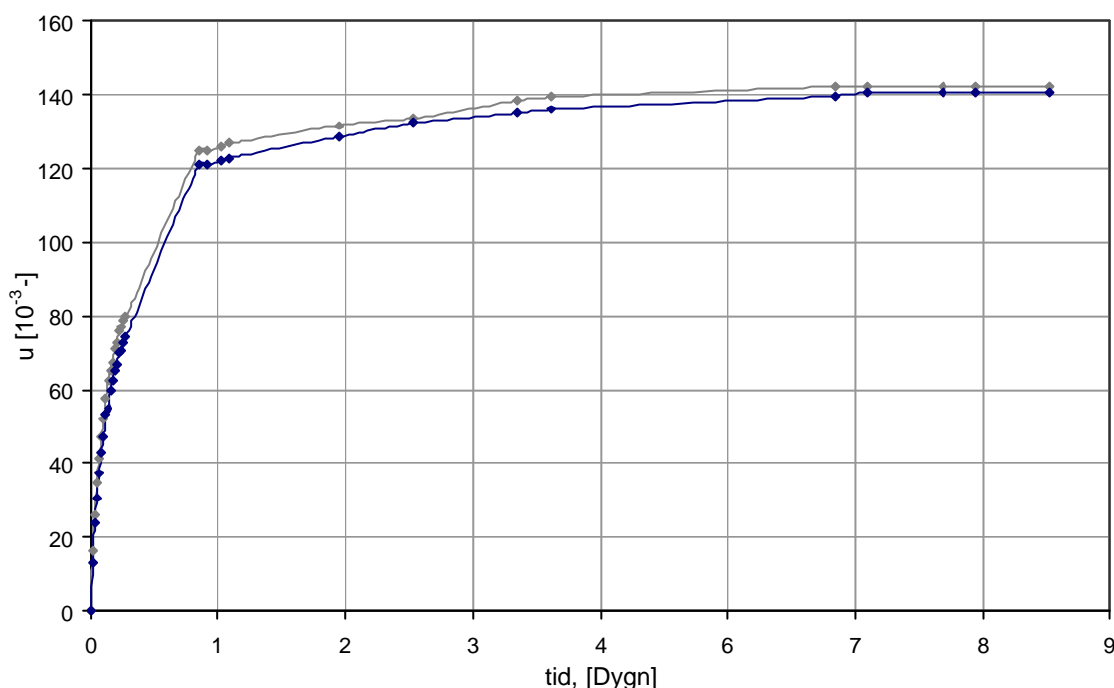
($R^2 = 0,8308$)

5.5.1 Fuktupptagning från torrt till 95%

Frågeställningen i detta försök var hur mycket fukt RF-trissornas tar upp under maximal belastning efter det att de tagits ur värmeugnen och innan deras torrsvikt hunnit vägas.

Innan försöket startade förkonditionerades RF-trissorna under ett flertal dygn i en värmeugn. Därefter placerades två RF-trissor i fuktgeneratoren med klimatet 20°C och 95 % RF och vägdes under drygt åtta dygn. Vågen som användes beskrivs i kapitel 5.1.5, ugnen beskrivs i kapitel 5.1.4 och fuktgeneratoren i 5.1.3.

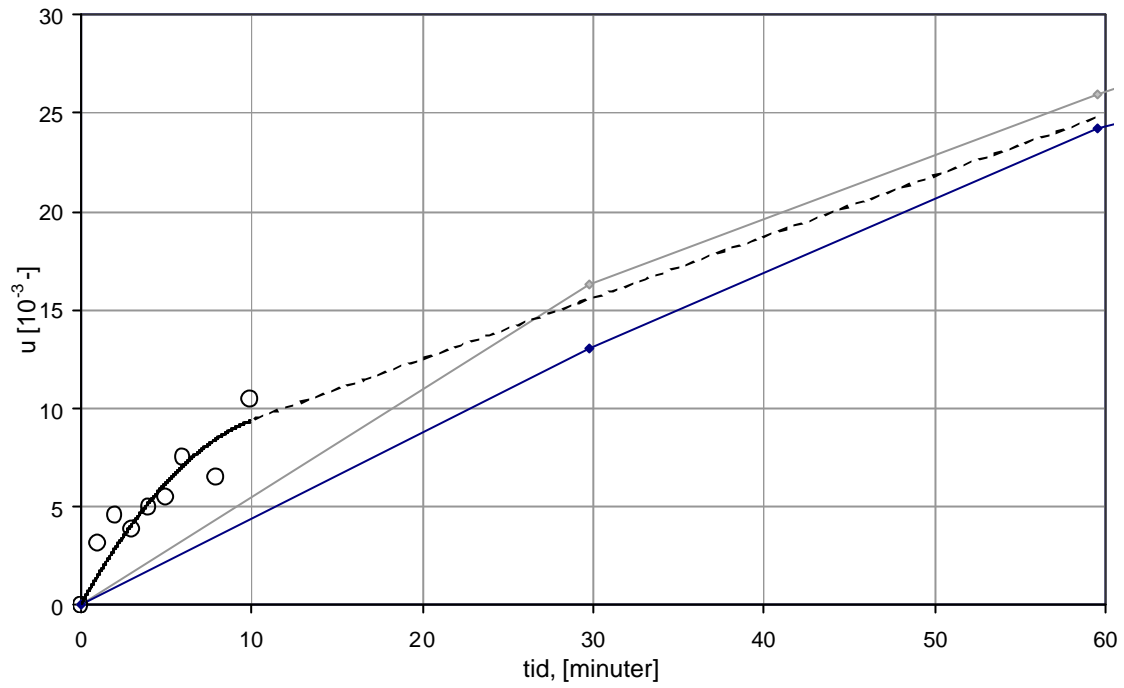
Vid vägning av RF-trissorna togs de ut ur ugnen och placerades på en våg. Vägningen skedde med 30 minuters mellanrum den första dagen, därefter en till två gånger per dygn enligt grafen i figur 34. Undersökningen är beskriven i sin helhet av Esping (2001).



Figur 34. Fukthaltsökning med tiden för provkropparna från 0% till 95% RF.

Det är svårt att jämföra detta resultat med det som redovisas i kapitel 5.5.1 eftersom tidsramen har varit så olika. Undersökningen i kapitel 5.5.1 lägger tyngdpunkten på fuktupptagningen under de första tio minuterna medan denna undersökning ser till förloppet över flera dagar.

Dock är inte resultaten från dessa undersökningar på något sätt motstridiga. I figur 35 redovisas ett ungefärligt förlopp för den första timmen som överensstämmer med mätresultaten från båda undersökningarna. Det är därför rimligt att antaga att ekvation 7 även kan beskriva fuktupptagningen under de första minuterna i detta försök, även om inga mätningar är gjorda då.



Figur 35. Jämförelse mellan mätresultat från två olika försök. Notera att fuktupptagningsförloppet överensstämmer väl de första 10 minuterna.

6. Täthet mellan trissorna

I denna undersökning utförd av Esping (2001) har tätningen mellan trissorna undersökts. Dels har ånggenomgångsmotståndet hos neoprengummit undersökts och dels har tätningens funktion hos den monterade OE-staven undersökts.

6.1 Ånggenomgångsmotstånd hos neoprengummi

Detta försök syftade till att bestämma neoprengummits ånggenomgångsmotstånd. Frågeställningen var om det finns risk för ångtransport mellan RF-trissorna genom neoprengummit.

Försöket utfördes med hjälp av koppmetoden som beskrivs i SS 021582 (1980). I korthet fylls en glaskopp med några cm vatten eller saltlösning för att generera en önskad RF-nivå.

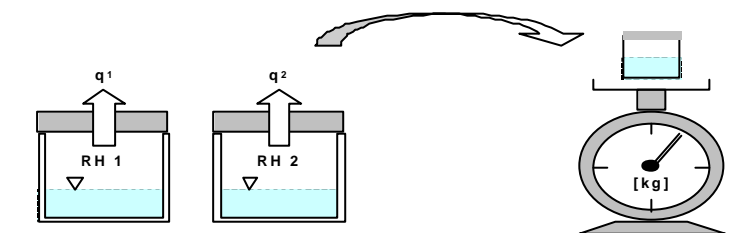
Materialet som skall undersökas fästes som ett tättslutande lock över koppen.

Viktminskningen hos koppen inklusive vätskan och provningsmaterialet vägdes kontinuerligt under sex veckor, figur 36. I början vägdes koppen dagligen medan intervallet mellan vägningarna ökade under mätningen för att mot slutet vara omkring en vecka.

Kopparnas diameter var 70mm och neoprengummits tjocklek var 3mm. Genom att använda vatten och olika saltlösningar i koppen kan medel-RF varieras över materialet. Två olika miljöer testades i var sin mätning:

I. KNO_3 (94.6%) / klimatrum (50%) ger $\text{RF}_m = 72\%$

II. Vatten (100%) / klimatrum (50%) ger $\text{RF}_m = 75\%$



Figur 36. Principen för koppmetoden där ånggenomgångsmotståndet för materialet bestäms vid två olika RF.

Resultaten från mätningarna av fukttransportegenskaper för neoprengummi redovisas i tabell 4.

Tabell 4. Uppmätta fukttransportegenskaper för neoprengummi.

Miljö		72%	75%	Medel
Ångflöde (q)	$[10^{-9} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}]$	43,3	49,3	46,3
Diffusionskoefficient (d)	$[10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}]$	16,9	17,1	17,0
Ånggenomgångsmotstånd (Z)	$[10^3 \text{ s/m}]$	178	175	176

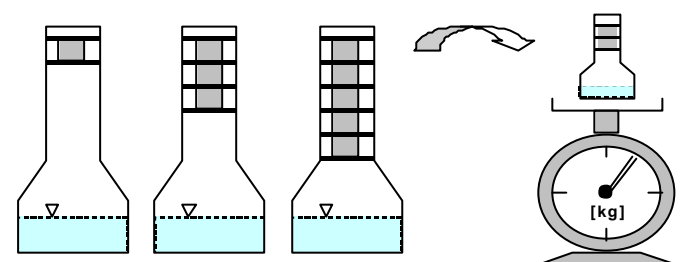
6.2 OE-stavens täthet

Detta försök syftade till att bestämma tätheten hos neoprentätningen på OE-staven. Frågeställningen var hur stor läckaget mellan RF-trissorna i OE-staven kan bli på grund av materialegenskaper, konstruktionsutförande, otätheter med mera.

Försöket utfördes som ett koppförsök men med hjälp av en flaska med lång rak hals. I korthet fylldes flaskan till hälften med vatten för att generera 100 % RF. Tre olika OE-stavar tillverkades med sammanlagt två, fyra respektive sex neoprentätningar. OE-stavarna monterades som proppar i var sin flaska. Viktminskningen hos respektive flaskan inklusive vätskan och OE-stav vägdes kontinuerligt under tre månader. I början vägdes koppen dagligen medan intervallet mellan vägningarna ökade under mätningen för att mot slutet vara omkring en vecka.

Mätningarna utfördes med tre olika antal tätningar på OE-staven, se figur 37.

- I. 1 trissa och 2 tätningar (L=10 mm)
- II. 3 trissor och 4 tätningar (L=30 mm)
- III. 5 trissor och 6 tätningar (L=50 mm)



Figur 37. Principen för koppmetoden där fuktflödet och det praktiska ånggenomgångsmotståndet för provstavar med olika antal tätningar bestäms.

Resultaten från mätningarna av fukttransportegenskaper för OE-stavens tätningar redovisas i tabell 5.

Tabell 5 Uppmätta fukttransportegenskaper för OE-stavens tätning

Antal tätningar		2	4	6
Ångflöde (q)	[10^{-6} kg/m ² ·s]	8,1	4,8	1,0
Diffusionskoefficient (d)	[10^{-6} m ² /s]	5,6	6,7	2,5
Ånggenomgångsmotstånd (Z)	[10^3 s/m]	1,1	1,8	8,4

Det bör påpekas att trissan i OE-stav I var tillverkad av MDF (medium density fiberboard). Trissorna i OE-stav II av furu. Två av trissorna i OE-stav III av bok och de övriga tre var Temp-trissor tillverkade av rostfritt stål.

7. Jämförande mätningar på laboratorium

I denna undersökning har OE-metoden provats i en riktig mätsituation under kontrollerade omständigheter i laboratoriet. Jämförande mätningar med två etablerade metoder enligt RBK har gjorts parallellt med OE-metoden.

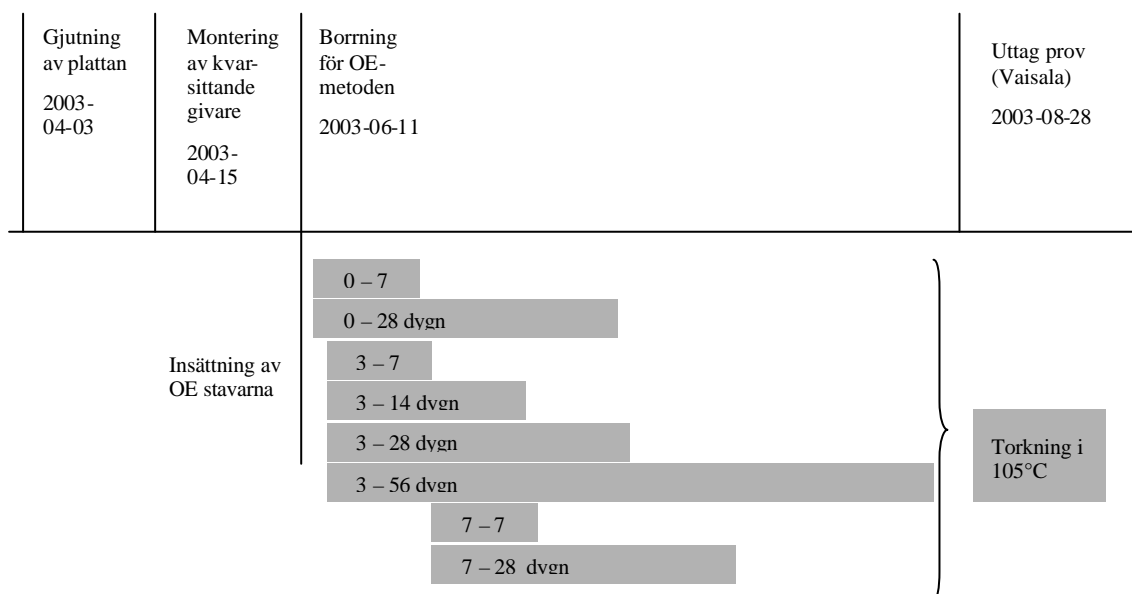
Frågeställningen var dels om mätningar med OE-metoden var praktiskt genomförbara i en riktig mätsituation och dels om det fanns någon betydande avvikelse mellan de olika metodernas mätresultat.

7.1 Försöksupplägg och tidschema

Till undersökningen göts en betongplatta, se kapitel 7.2, som fick härda dygt en månad innan mätningarna startades. Kvarsittande givare monterades i provtagningsplattan för att följa torkförloppet, se kapitel 7.5.

Mätningar med OE-metoden utfördes med en mängd olika tidsintervall för att undersöka förhållandena för jämvikt. OE-stavarna monterades vid tre olika tillfällen. Direkt efter borringen, efter tre dygn samt efter sju dygn. Dessa OE-stavar avlästes efter 7 dygn, 14 dygn, 38 dygn respektive 56 dygn, se figur 38.

Efter att samtliga mätningar med OE-metoden utförts gjordes en mätning av fuktprofilen i plattan på uttaget prov. Detta är den säkraste metoden att mäta en fuktprofil och ger minst mätosäkerhet enligt RBK (2001).



Figur 38. Tidschema för jämförande mätningar i laboratoriet.

7.2 Provtagningsplatta

Provtagningsplattan som använts vid de jämförande mätningarna i laboratoriet är tillverkad av betong med vattencementtal (vct) 0,70. Betongreceptet redovisas i tabell 6.

Tabell 6. Använt betongrecept, vct = 0,70

Material	[kg/m ³]
Cement	279
Vatten	195
Sten 0-8 mm	935
8-11 mm	467
11-16 mm	467

Den kvarsittande gjutformen är tillverkad av formplywood som monterats på en lastpall, se figur 39. För att förhindra ofrivillig uttorkning nedåt och åt sidorna genom eventuella springor etcetera lades en dubbel plastfolie i formen innan betongen göts. Storleken på betongplattan var 1300 × 800 × 130 mm.



Figur 39. Provtagningsplattan med kvarsittande plywoodform.

Efter betongen gjutits täcktes provtagningsplattan med en plastfolie någon vecka för att minska avdunstningen under härdningsförloppets första tid. Plattan förvarades under härdningsperioden samt under hela mätperioden i en laboratorielokal med normalt inomhusklimat.

7.3 OE-metoden

Syftet med försöket var att studera tidsförloppet till jämvikt vid mätning med OE-metoden mellan fuktnivån i RF-trissor och i omgivande betong. Frågeställningen var dels om hålet behövde vila några dagar för att stabiliseras innan OE-staven kunde monteras och dels hur länge OE-staven var tvungen att sitta i hålet innan en rättvisande avläsning kunde ske.

Dessutom kontrolleras handhavandet med OE-metoden generellt. Dessa erfarenheter utgjorde grunden för ett antal mindre anpassningar av OE-metoden till förhållandena vid fältmätningar.

7.3.1 OE-stavens förberedelse

OE-stavarna bestod av 2 Temp-trissor samt 8 RF-trissor med en sammanlagd längd av 10 cm. Eftersom inga värmerör eller andra värmekällor var placerade i eller i närheten av provtagningsplattan var det tillräckligt att placera en Temp-trissa längs upp på OE-staven och en längst ner, se figur 40. Temperaturfördelningen i plattan kan i detta fall antas vara linjär mellan Temp-trissorna.



Figur 40. OE-stav som användes i försöket med två Temp-trissor och åtta RF-trissor.

RF-trissorna förkonditionerades först någon vecka i ungefär 50 % RF och 20°C i klimatrums och sedan ett par veckor i 75 % RF och 20°C i klimatbox innan OE-stavarna monterades samman. Klimatrummet och klimatboxen beskrivs i kapitel 5.1.1.

De sammansatta OE-stavarna låg därefter tre dagar i 75 % RF och 20°C i klimatbox innan montering i mätthålet. Syftet var att utjämna eventuella störningar som kunde uppkomma i samband med monteringen vilken skedde i 50 % RF och 20°C i klimatrums.

7.3.2 Borrning av mätthål

I provtagningsplattan borrades 16 st mätthål enligt rutinen som är beskriven av RBK (2001), se även bilaga 2.

Mätthålen borrades med en Ø16 mm slagborr till ett djup av 11 cm. Vid rengöring av borrhålet användes en smal flaskborste samt en dammsugare med ett munstycke som kunde föras ned till hålets botten, se figur 41.

Hålen fördelades över ytan på provtagningsplattan med ett inbördes avstånd av minst 20 cm. Inga hål borrades i området närmast kanterna samt i närheten av de kvarsittande givarna, se figur 43.



Figur 41. Borrning av mätthål och dammsugare med smalt munstycke. Foderrör med tätad botten för pluggning av mätthålen.

Efter borrningen monterades OE-stavarna omgående i de fyra mätthål där ingen väntetid skulle användas mellan borrning och montering, dubbla mätningar av två jämviktstider. De övriga 12 mätthålen pluggades med foderrör vars botten tätats med en gummiplugg, se figur 41. Foderrören tätades även mot betongytan med tätningsmassa, se figur 42.

7.3.3 Montering av OE-stavarna

Vid montering av OE-stavarna togs de ur klimatboxen och virades direkt in i en tät plastpåse. Transporten av respektive OE-stavarna till provtagningsplattan och montering i mätthål tog mindre än 2 minuter. Efter att OE-staven förts ned i mätthålet drogs vingmuttern åt och en extra tätning bestående av tätningsmassa monterades för att minimera läckage, se figur 42.

Monteringen av OE-stavarna skedde vid tre olika tidpunkter, se figur 36. I direkt anslutning till borrningen monterades fyra OE-stavar. Efter tre dygn avlägsnades åtta foderrör och lika många OE-stavar monterades omgående i dessa mätthål. Sju dygn efter borrning avlägsnades de sista foderrören och OE-stavar monterades omgående i dessa mätthål.

Dock kunde bara tre av de fyra sista foderrören avlägsnas efter sju dygn vilket fick till följd att en mätning inte kunde göras med dubbelprov. Detta innebär att mätningen där OE-staven monterades efter sju dygn och sedan avlästes efter ytterligare 28 dygn är den enda mätningen som inte är ett dubbelprov.



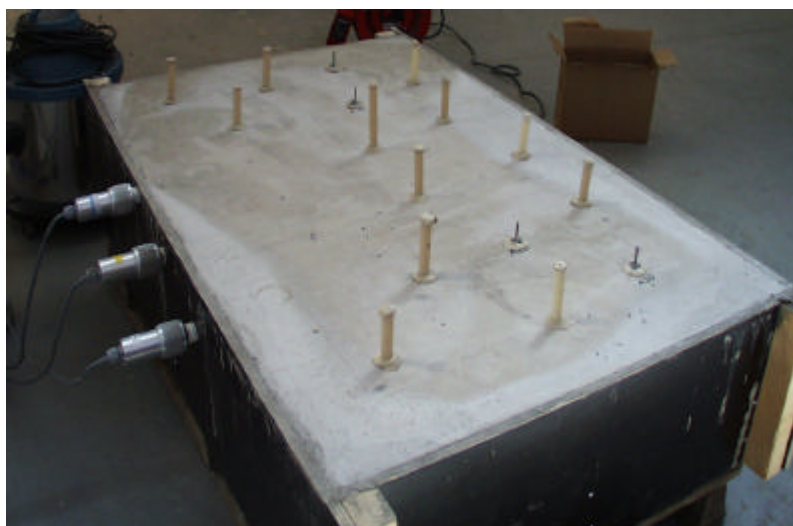
Figur 42. Montering av OE-stav, med två Temp-trissor och åtta RF-trissor, i mätthål. Monterad OE-stav samt foderrör med extra tätning mot betongytan.

7.3.4 Jämviktstid

Jämviktstiden är den tid som OE-stavarna sitter i mätålen efter att de monterats i provtagningsplattan och innan de tas ut för avläsning. Temperaturen i betongen överförs snabbt till Temp-trissorna medan utjämningen av fuktnivån har ett långsammare förlopp.

Under jämviktstiden vandrar fukt enkelt uttryckt från omgivande betong till RF-trissorna om betongen är fuktigare än 75 % RF och vice versa om betongen är torrare. Skillnaden i fuktnivån mellan betong och RF-trissa utgör drivkraften för fuktvandringen vilket medför att ju längre utjämningen kommit desto mindre är drivkraften och därmed också flödet och utjämningshastigheten. Detta innebär att utjämningen aldrig kan bli helt fullständig under en rimlig tidsrymd utan snarare kan beskrivas som ett asymptotiskt förlopp mot den slutliga fuktnivån. I försöket studerades effekten av fem olika jämviktstider. Dessa var 7, 14, 30 samt 60 dygn, se figur 38.

OE-stavarna monterades i mätålen och demonterades därefter för avläsning vid olika tidpunkter. Innan OE-staven monterats och efter det att den demonterats var respektive mätåle pluggat med ett foderrör, se figur 43.



Figur 43. Provtagningsplatta där antingen en OE-stav eller ett foderrör sitter i samtliga mätåle. Kvarsittande givare av typen Protimeter monterade genom formsidan.

7.3.5 Uttagande och avläsning

De olika OE-stavarna demonterades ur mätålen och avlästes vid olika tillfällen. Detta förfarande syftade till att få rätt tidsförlopp vad avser jämviktstid för respektive OE-stav enligt figur 38.

Vid demonteringen lossades vingmuttern som sitter högst upp och OE-staven den drogs ut ur mätålet. Omedelbart, inom några sekunder efter att OE-staven demonterats ur mätålet lästes temperaturerna av mitt på de båda Temp-trissorna med hjälp av en beröringsfri yttemperaturgivare av modellen TESTO Quicktemp 860-T2, se figur 9. Temperaturerna noterades.

OE-staven virades därefter raskt in i en tät plastpåse och transporterades till det klimatrum där precisionsvägen var placerad. Klimatet i rummet var konstant 50 % RF och 20°C, se kapitel 5.1.1. I klimatrummet togs OE-staven isär och varje RF-trissa vägdes separat, vikterna noterades.

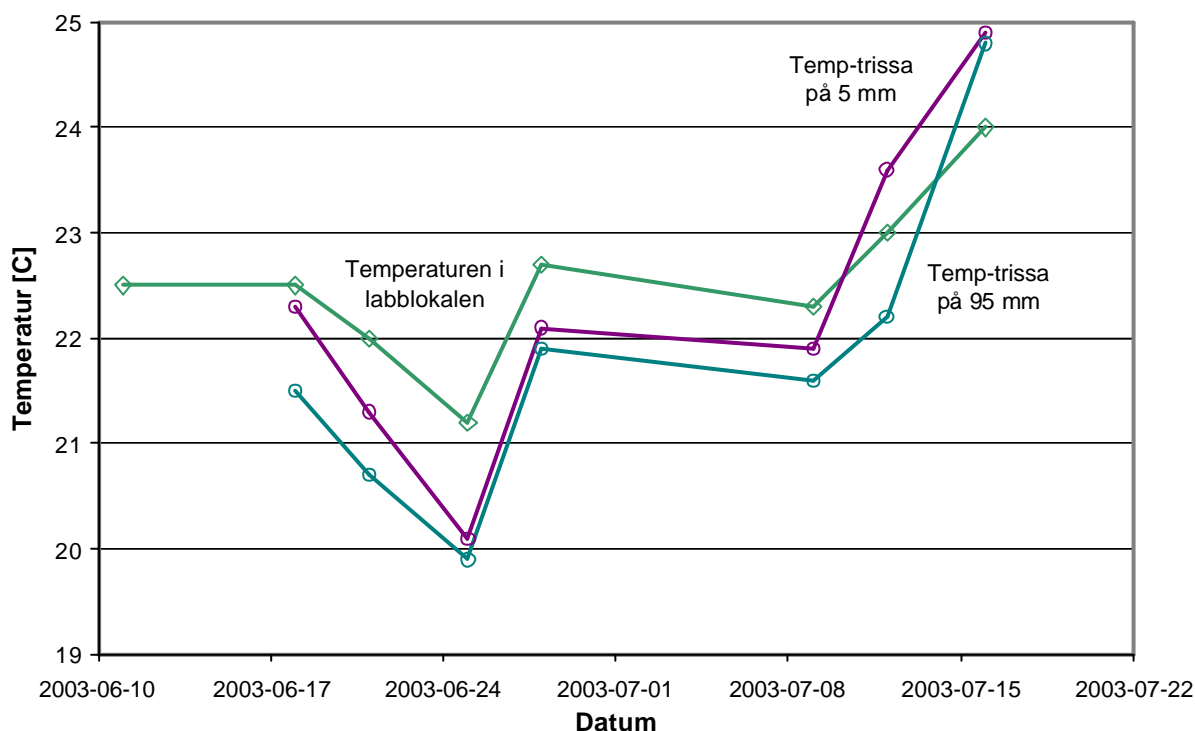
Tiden från demontering av OE-staven ur mätålet till isärtagningen påbörjades var mindre än 2 minuter. Tiden för isärtagning av OE-staven och vägning av samtliga RF-trissor var mindre än 3 minuter.

Efter att vägningen slutförts förvarades RF-trissor i klimatrummet till det att samtliga OE-stavar lästs av. Därefter placerades samtliga RF-trissor från alla OE-stavar i en torkugn (105°C), se kapitel 5.1.4. RF-trissornas torrsvikt bestämdes efter ett dygn.

7.3.6 Mätresultat Temperatur

En sammanställning av de uppmätta medelvärdena för temperaturer vid avläsningar av Temp-trissor på olika OE-stavarna redovisas i figur 44. Temperaturen i labblokalen mättes i luften i samband med varje avläsning av en OE-stav.

I slutet av mätperioden ökar den avlästa temperaturen markant så att den överstiger den omgivande temperaturen i labblokalen. Det är oklart varför temperaturen i betongplattan ökar på detta sätt.



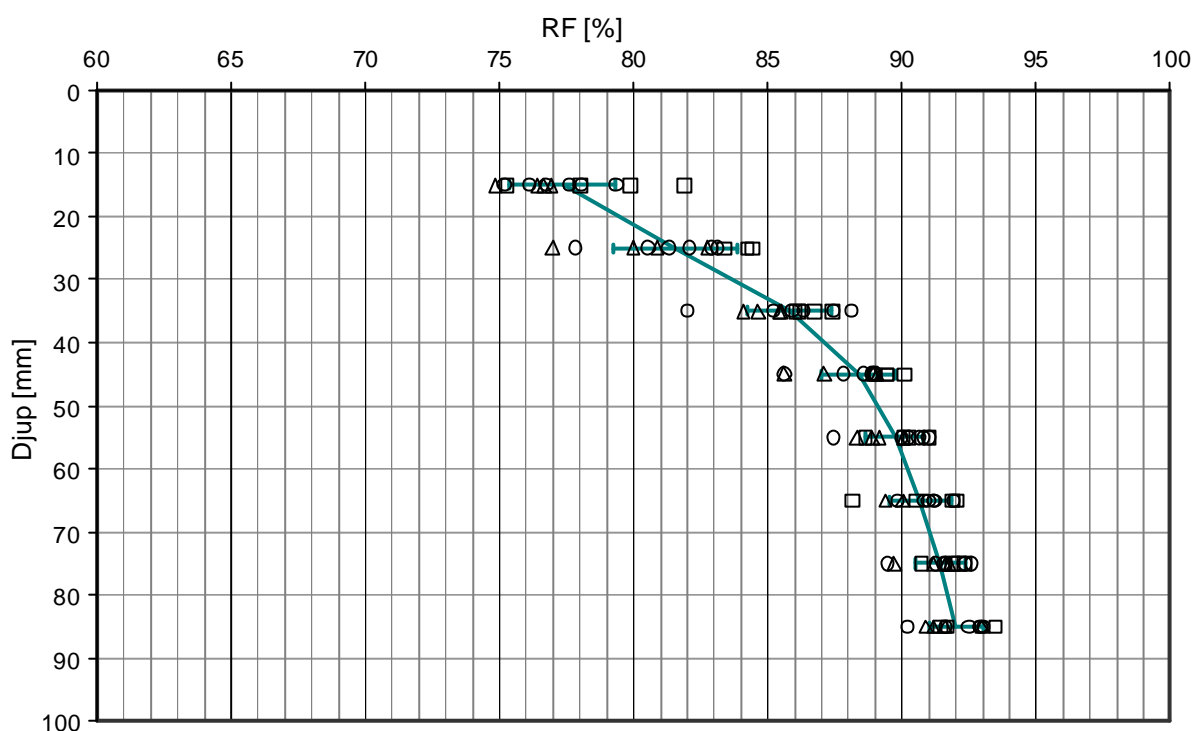
Figur 44. Sammanställning av uppmätt temperatur i provtagningsplattan med hjälp av Temp-trissor samt temperaturen i labblokalen där plattan förvarades.

7.3.7 Mätresultat RF

Resultaten från mätningarna av RF-trissor har utvärderats enligt metoden som beskrivs i bilaga 1, beräkning av mätresultat. I korthet beräknas först fuktkvoten hos RF-trissan och sedan omsätts den till RF med hjälp av ekvation 5 (B1:2). Om mätningen inte utförts vid 20°C behöver slutligen RF-värdet korrigeras för temperatur skillnaden enligt ekvation 3 (B1:4).

Samtliga mätresultat för RF-trissorna är sammanställda i figur 45. Medelvärdet och standardavvikelse på respektive djup är markerade med en tjock graf. Standardavvikelsen för respektive mätdjup är ett mått på mätningens osäkerhet eller spridning. Denna typ av osäkerhetsanalys brukar ofta kallas för typ 1 osäkerhet. Det vill säga att osäkerheten i mätserien utvärderas statistiska från spridningen hos de faktiska mätningarna i den serien.

Mätvärden för RF-trissor monterade i mäthål direkt efter borring markeras med en fyrkant i figur 45. En cirkel markerar mätvärden för de RF-trissor som monterade 3 dygn efter borring samt en trekant för de som monterades efter sju dygn.



Figur 45. Uppmätt fuktprofil genom provtagningsplattan 76 – 128 dagar efter gjutning. Mätning med OE-metoden, standardavvikelse $\pm 0,9 - 2,3$ % RF, TF=1.

En närmare utvärdering görs av mätresultatet i kapitel 7.6. Där jämförs uppmätta värden med både OE-metoden, Uttaget prov samt kvarstående givare.

7.4 Uttaget prov

Efter att samtliga OE-stavar demonterats och avlästs mättes slutligen fuktprofilen i provtagningsplattan på tre platser med uttaget prov. Mätningar av fuktnivån i betong på uttaget prov är den bästa metoden med minst mätosäker enligt RBK (2001).

7.4.1 Metod

Uttagning av prover från provtagningsplattan följde ”rutin för uttagning av prov”, RBK (2001). Proverna togs ut från tre olika platser på plattan. På varje plats togs prover ut till en hel fuktprofil på 7 – 10 olika djup. Sammanlagt togs 24 prover med 10 – 20 mm intervaller. Proverna togs ut med hjälp av kärnborr samt bilningshammare, se figur 46.



Figur 46. Uttagning av provtagningsbitar med kärnborr och bilningshammare.

Efter uttagning förvarades proverna i provrör i klimatstabil rum. Vid mätning av fuktnivån monterades RF-givare av typen Vaisala HMP 44 direkt i provrören, se figur 47. Mätförfarandet, jämviktstider samt utvärdering av resultaten följde anvisningarna i ”Rutin för RF-bestämning i lab på uttaget prov, kapacitiv givare Vaisala”, RBK (2001).

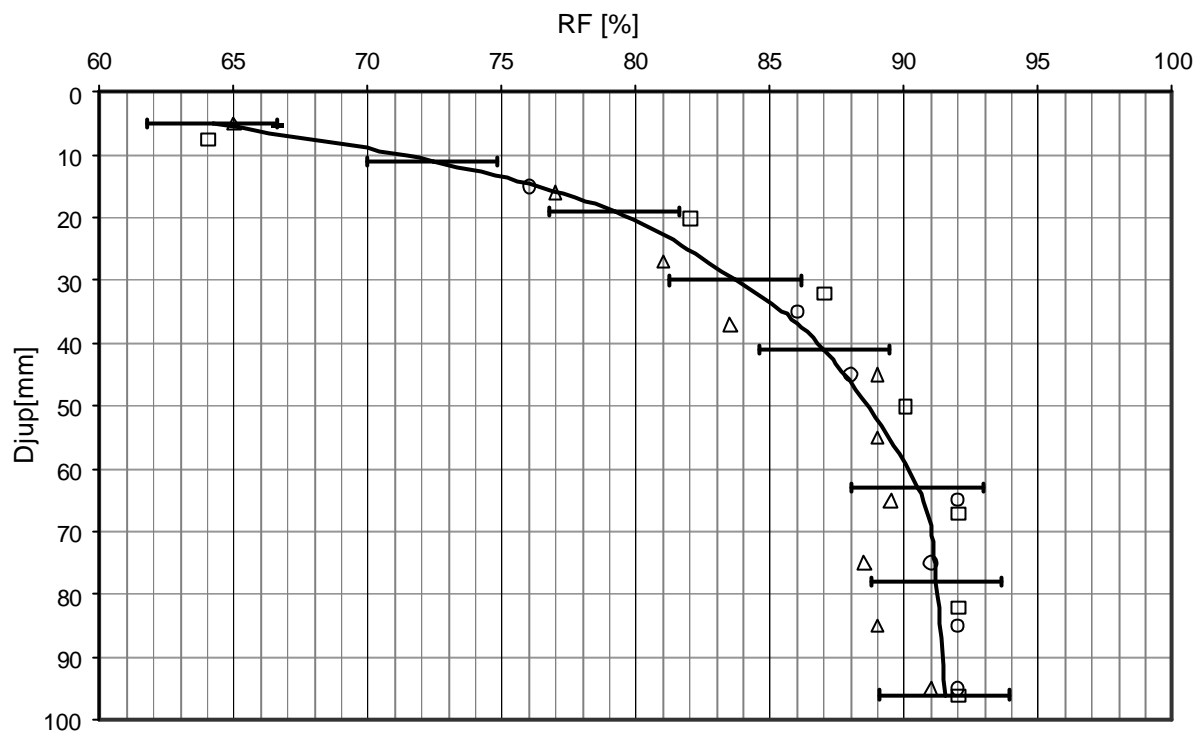


Figur 47. Provtagningsbitar i provrör samt Vaisala HMP 44 monterad i provrör för mätning.

7.4.2 Mätresultat

Mätresultaten från de tre mätplatserna är sammanställda i figur 48. Sammanvägd medellinje för de tre fuktprofilen med mätosäkerheten inlagd som felstaplar samt som markerat område.

Kombinerad standardiserad mätosäkerhet för metoden och den använda utrustningen är beräknad till $\pm 2,44$ % RF enligt rutinen i RBK (2001), $TF = 2$.



Figur 48. Uppmätt fuktprofil genom provtagningsplattan 133 dygn efter gjutning. Mätning med uttaget prov och Vaisala HMP 44, mätosäkerhet $\pm 2,44$ % RF, $TF = 2$.

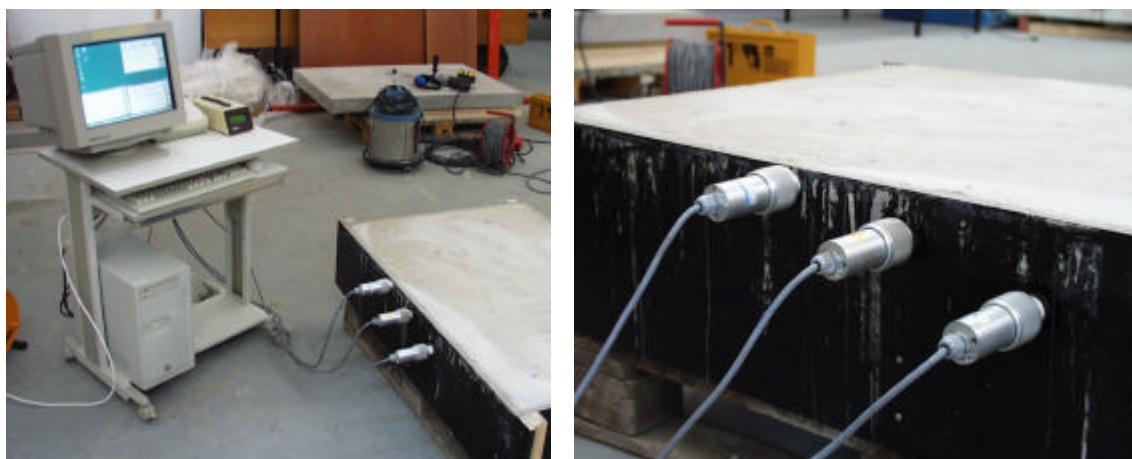
7.5 Kvarsittande givare

Mindre än två veckor efter gjutning monterades kvarsittande RF-givare på tre olika djup i provtagningsplattan. Olika typer av störningar gjorde att dessa mätningar kom igång först tre veckor senare. Med kvarsittande givare kan fuktnivån i betongen mätas kontinuerligt och uttorkningsförloppet följas kontinuerligt.

7.5.1 Metod

Innan gjutning monterades tre horisontella ”elrör” av PVC på olika nivåer. Rören monterades med 150 mm mellanrum horisontellt i anpassade hål genom formplywooden. Rörens öppning inne i provtagningsplattan stabiliserades med ett kvarsittande stöd samt tätades med diffusionsöppen kirurgtejp så att betong inte skulle rinna in i rören vid gjutningen. Rören placerades i höjddled så att mätningen skedde på 20, 50 samt 90 mm djup från betongytan

Tolv dygn efter gjutning monterades tre spegelkondens givare av fabrikatet Protimeter DP989 i mät hålen, se figur 49. Till en början uppkom problem med vatten som ansamlades i mät hålen, främst i hålet på 90 mm djup. Detta tillsammans med några mindre störningar av i loggningsutrustningen innebar att dessa mätningar kom igång först fem veckor efter gjutning.



Figur 49. Mätssystem med kvarsittande spegelkondensgivare av fabrikatet Protimeter DP989 för loggande mätningar av plattans uttorkningsförlopp.

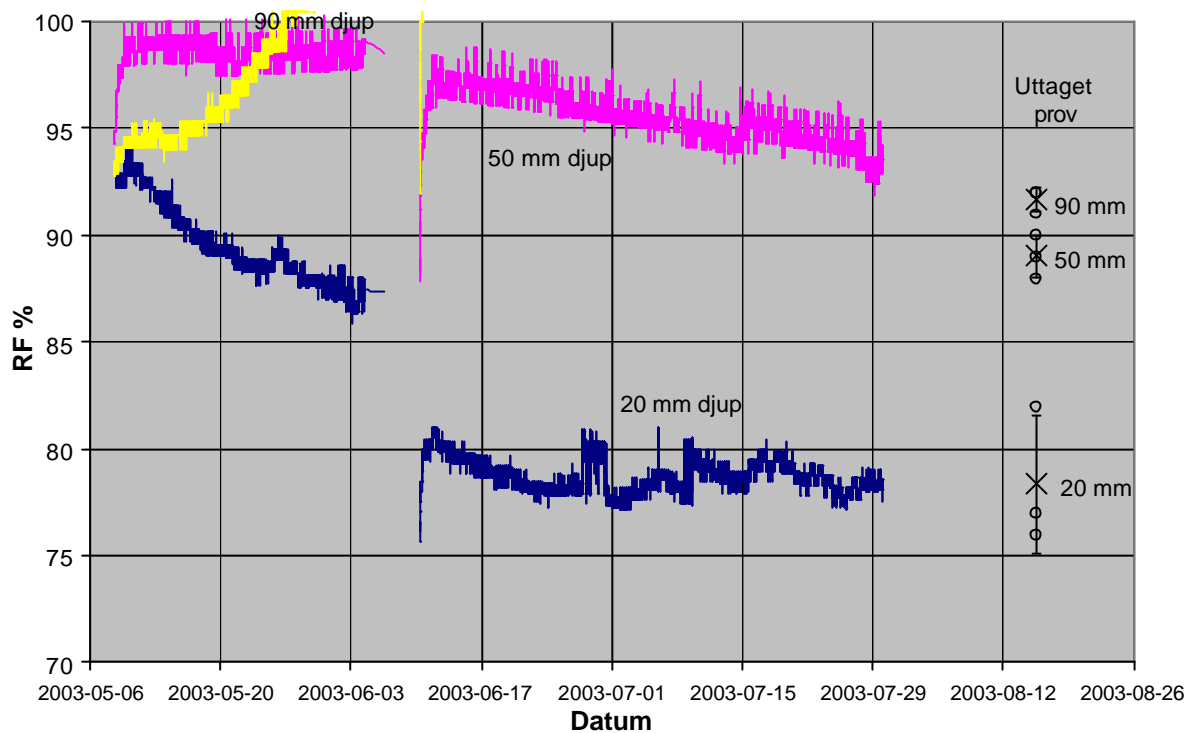
7.5.2 Mätresultat

Uppmätt uttorkningsförlopp för tre nivåer i provtagningsplattan redovisas i figur 50. Mätningen sträcker sig från 35 till 117 dygn efter gjutning.

De tre graferna i figur 50 motsvarar fuktförhållandet på respektive mätdjup som en funktion av tiden. Uppehållet i mätningen omkring 2003-06-05 gjordes för att kalibrera mätutrustningen.

Till höger i figur 50 jämförs de loggade fuktförloppen på respektive djup med värdena uppmätta med uttaget prov 2003-08-15. Hela fuktprofilen som uppmäts med uttaget prov redovisas i figur 48.

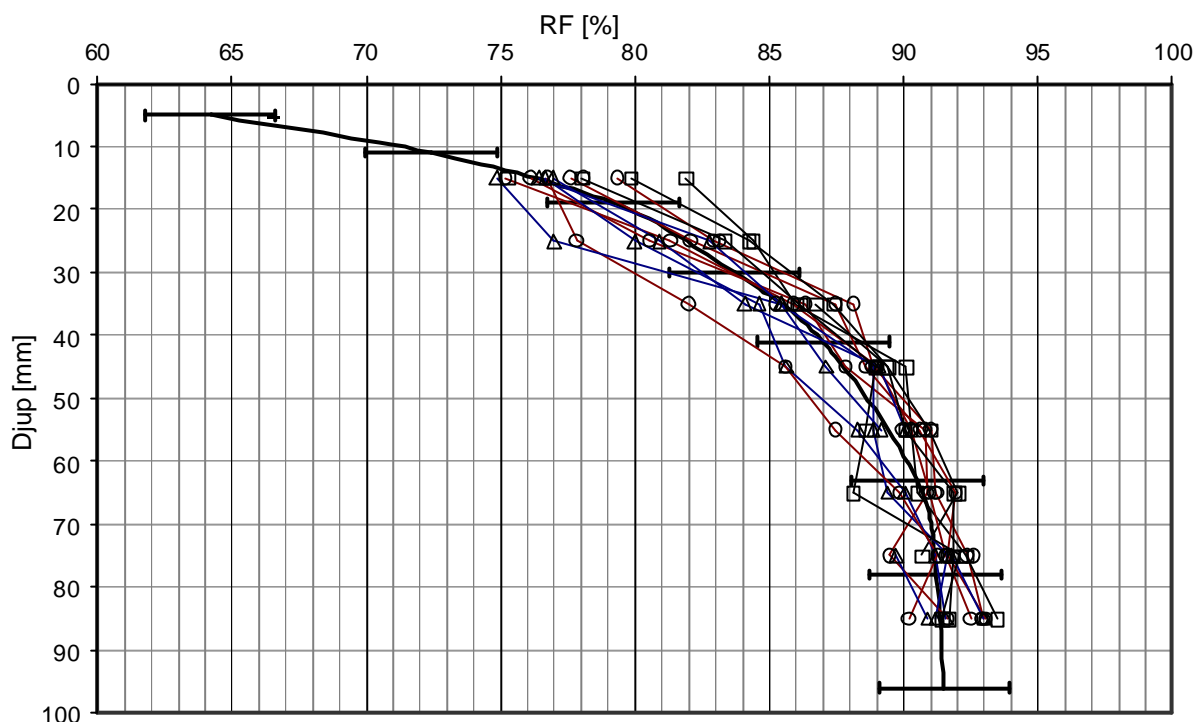
Notera att grafen för fuktnivån på 90 mm snabbt stiger och överskrider 100% RF efter bara några veckor. Sannolikt har mätåret återigen fått ett oförklarligt fuktillskott som påverkar mätresultaten. Även mätvärdena för 50 mm kan misstänkas vara påverkat av ett fuktillskott eftersom den uttorkningen inte heller följer förväntat förlopp. Fuktnivån på 50 mm uppmättes till i medeltal 89 % RF med det uttagna provet medan loggningarna visar 95 % RF 16 dygn tidigare. Det är inte rimligt att fuktnivån sjunker 6 % RF på drygt två veckor när betongen tidigare inte haft den uttorkningshastigheten.



Figur 50. Uppmätt uttorkningsförlopp med kvarsittande givare på tre olika djup 35 – 117 dygn efter gjutning samt värden från mätningar med uttaget prov efter 147 dygn.

7.6 Utvärdering av jämförande mätningar i labb

Uppmätta värden med OE-metoden överensstämmer med uppmätta värden med uttaget prov, med acceptabel noggrannhet. I figur 51 redovisas samtliga mätningar med OE-metoden i jämförelse med det medelvärde och osäkerhetsområde som bestämts med uttaget prov.



Figur 51. Uppmätta fuktprofiler med OE-metoden jämfört med medellinje uppmätt med uttaget prov samt tillhörande osäkerhetsområde.

I tabell 7 redovisas en parameterstudie av tiden för insättning av OE-staven i borrhålet. Resultatet visar att uppmätt RF med OE-metoden sjunker i förhållande till uttaget prov ju längre väntetiden mellan borrhining och insättning. Medelvärdet beräknat på samtliga OE-stavar med samma insättningstid, oberoende av längden av jämviktstiden efter montering.

Tabell 7. Skillnad i uppmätt RF som funktion av insättningstidpunkt.

Djup[mm]	Uttaget prov	0 dygn	Avvikelse	3 dygn	Avvikelse	7 dygn	Avvikelse
15	76,0	78,7	2,7	77,1	1,1	75,8	-0,2
25	82,0	84,0	2,0	81,4	-0,6	78,5	-3,5
35	85,0	86,6	1,6	85,6	0,6	85,0	0,0
45	88,0	89,5	1,5	88,4	0,4	86,4	-1,6
55	89,5	90,0	0,5	89,9	0,4	88,7	-0,8
65	90,5	90,6	0,1	90,8	0,3	90,0	-0,5
75	91,0	91,7	0,7	91,5	0,5	90,4	-0,6
85	91,3	92,2	0,9	92,2	0,9	91,2	-0,1
	Medel		1,24		0,43		-0,90
	STDAV		0,86		0,49		1,18

I tabell 8 redovisas en parameterstudie av jämviktstiden som OE-staven sitter i borrhålet innan avläsning sker. Resultatet visar att uppmätt RF med OE-metoden ökar i förhållande till uttaget prov ju längre jämviktstid som användes. Medelvärdet av samtliga OE-stavar med samma jämviktstid efter montering oberoende av insättningstid av OE-staven.

Tabell 8. Skillnad i uppmätt RF som funktion av jämviktstidens längd.

Diupfmm]	Uttaget prov	7 dygn	Avvikelse	14 dygn	Avvikelse	28 dygn	Avvikelse	56 dygn	Avvikelse
15	76,0	77,1	1,1	76,5	0,5	77,5	1,5	78,7	2,7
25	82,0	80,9	-1,1	80,7	-1,3	82,6	0,6	83,0	1,0
35	85,0	85,2	0,2	85,2	0,2	86,5	1,5	86,7	1,7
45	88,0	87,6	-0,4	88,5	0,5	89,3	1,3	88,9	0,9
55	89,5	88,7	-0,8	90,4	0,9	90,5	1,0	90,5	1,0
65	90,5	89,8	-0,7	90,9	0,4	91,4	0,9	91,2	0,7
75	91,0	91,3	0,3	90,6	-0,4	91,5	0,5	92,5	1,5
85	91,3	91,2	-0,1	92,3	1,0	93,0	1,7	92,9	1,6
	Medel		-0,19		0,23		1,12		1,39
	STDAV		0,71		0,75		0,44		0,65

I tabell 9 redovisas medelvärdet av avvikelsen för samtliga RF-trissor respektive dubbelprov av OE-stavar vid varje parameteruppsättning. Största avvikelsen från uppmätt värde med en hel fuktprofil med OE-metoden är mindre än osäkerheten för det uttagna provet, 2,44 % RF respektive 1,6 % RF.

Tabell 9. Skillnad i uppmätt medelvärde för respektive OE-stav.

Insättning [dygn]	Jämviktstid [dygn]			
	7	14	28	56
0	1,0	-	1,6	-
3	0,3	0,2	0,8	1,4
7	-0,7	-	-	-

Det mest praktiska sättet att utföra mätningen är att montera OE-staven direkt efter borring av mät hålet, men då blir felet på grund av faktorn ”insättningstid” som störst. Det optimala för att minimera det felet är 3 dygn enligt denna undersökning. Jämviktstiden bör enligt denna undersökning vara 1 – 2 veckor för att minimera skillnaden mellan mätresultaten från OE-metoden och uttaget prov.

8. Jämförande mätningar i fält

Två (tre) mätningar i fält har utförts med OE-metoden i fält. Dessa mätningar har gjorts både i nygjutna betonggolvet samt i befintliga betongväggar och -golv.

8.1 Nygjutet betonggolv

Mätobjektet är ett bostadshus under uppförande i Västra hamnen i Malmö. Lägenheten där mätningarna är gjorda är byggt med golvbjälklaget som platta på mark med underliggande cellplastisolering. Mätningarna är utförda i golvbjälklaget av betong i två angränsande rum, se figur 52.



Figur 52. Bostadshus under uppförande i Malmö samt mätpunkt med tre monterade OE-stavar

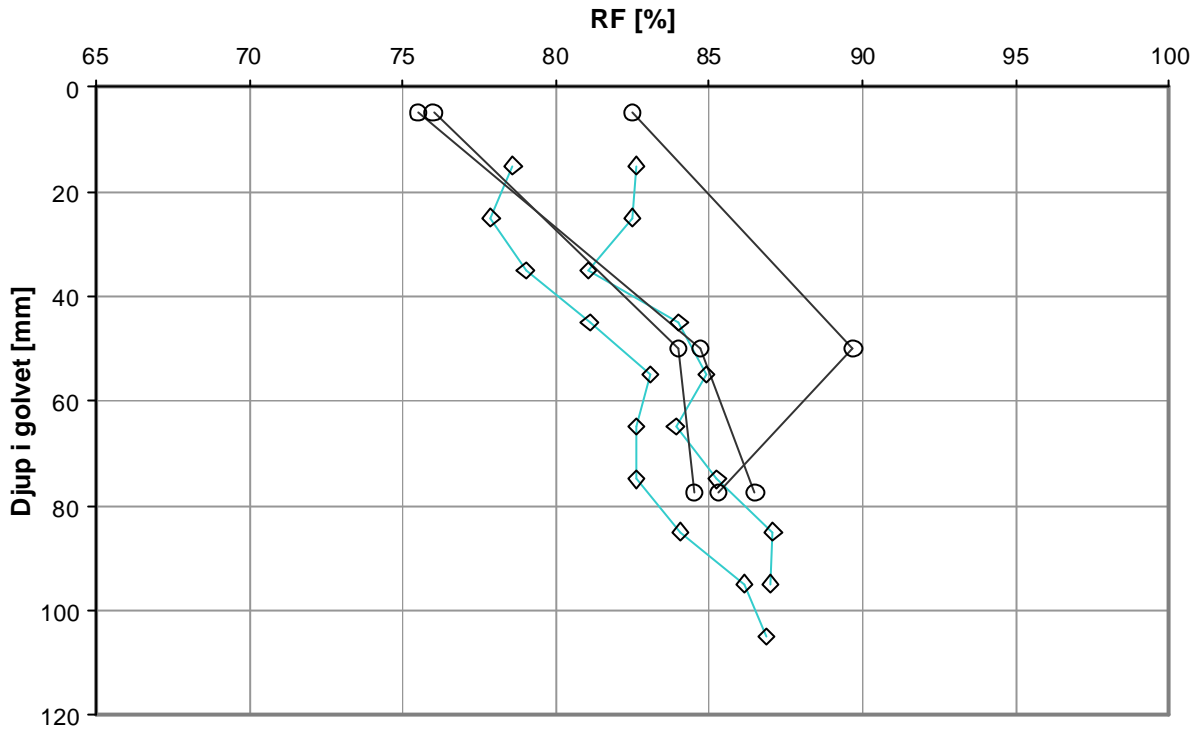
Tre stycken OE-stavar användes på respektive mätplats. I anslutning till OE-stavarna på mätplatsen mättes även relativa fuktigheten på uttaget prov med Vaisala HMP 44.

På den ena mätplatsen hade betonggolvet behandlats med medlet Penetron Plus för att öka uttorkningshastigheten, resultaten från den mätplatsen redovisas i figur 53. Medlet uppges vara hydrofoberande och därmed påstår att uttorkningen skall ökas. Ingen produktspecifik information eller dokumentation kunde tillhandahållas.

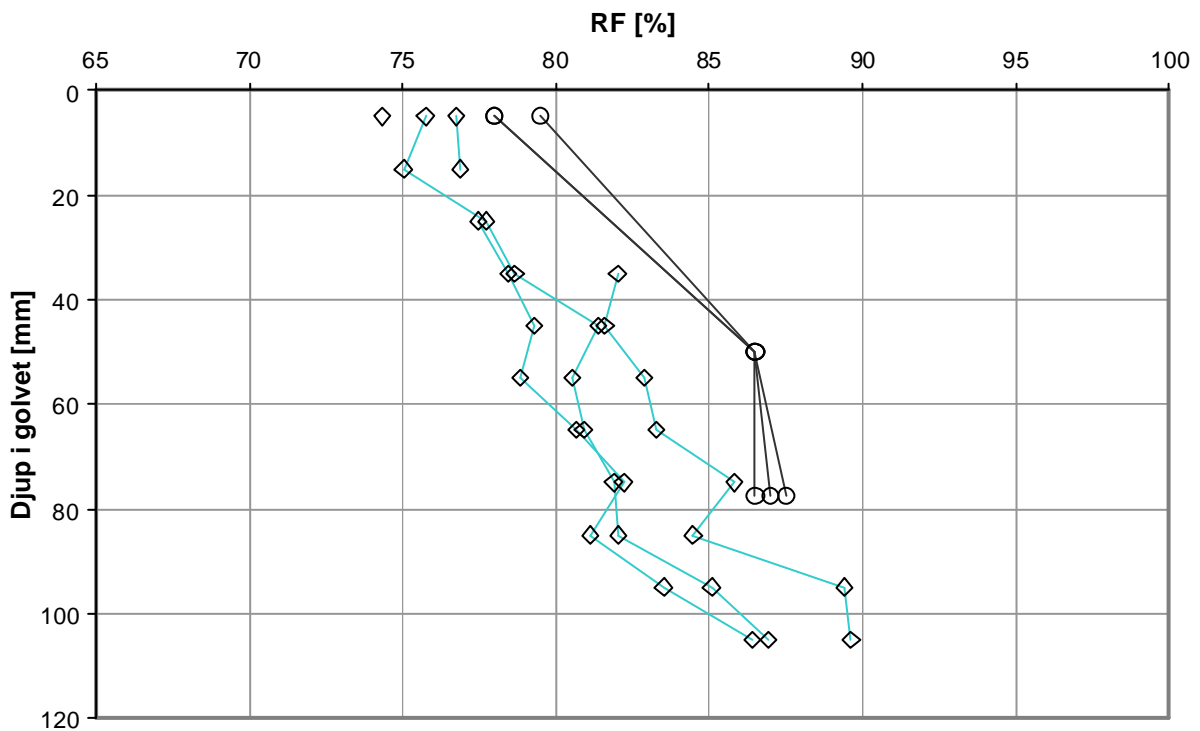
Samtliga mätvärden ligger inom ± 4 % RF på respektive djup på de två mätplatserna. Det finns en tendens att det uttagna provet ger högre mätvärden än OE-metoden, speciellt på den ”obehandlade” mätplatsen som redovisas i figur 54.

Spridningen mellan de olika OE-stavarna är som mest ± 3 % i botten av mätningarna som redovisas i figur 54. Totala standardavvikelsen från medelvärdet på respektive mätplats och djup för mätningar med OE-metoden kan utvärderas till $\pm 1,48$ % RF med denna mätning.

För övrigt kunde man inte urskilja någon positiv effekt av Penetron Plus på uttorkningen. Snarare visade mätningar med OE-metoden på en försämrade uttorkning hos de behandlade golven.



Figur 53. Profiler uppmätta med OE-metoden samt mätvärden för uttaget prov (ringar).
 Provplatsen belägen på behandlad golvyta.



Figur 54. Profiler uppmätta med OE-metoden samt mätvärden för uttaget prov (ringar).
 Provplatsen belägen på obehandlad golvyta.

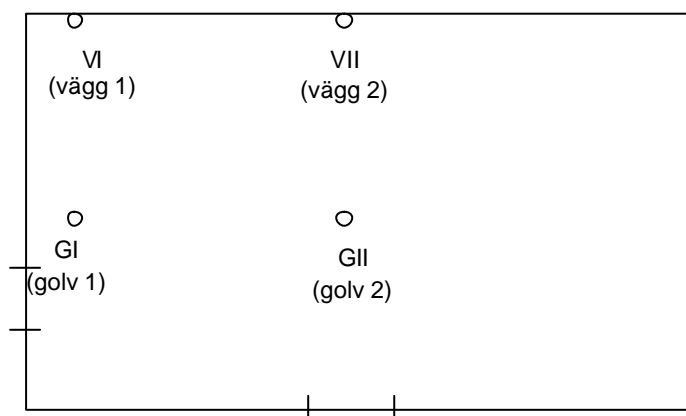
8.2 Befintlig betongkonstruktion

Mätobjektet är en lagerlokal belägen i norra delen av Lund. Lokalen är helt byggd av betong med motfyllning av jord på utsidan av ytterväggarna. Mätningarna är utförda dels i betongväggen och dels i golvbjälklaget. På varje mätplats monterades en OE-stav samt två kvarsittande givare av typen Humi-Guard, se figur 55.



Figur 55. Lokal med betonggolv, -väggar och stomme. Mätpunkt med OE-stav samt tre kvarsittande av typen Humi-Guard.

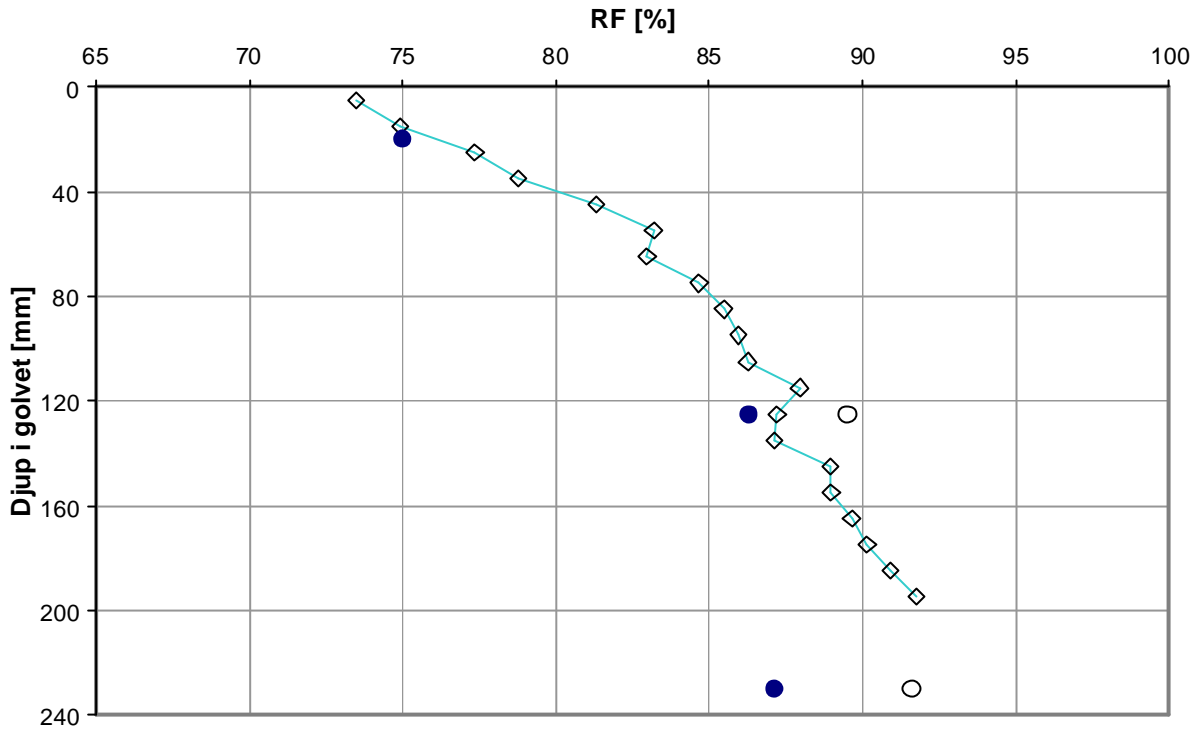
Två av mätplatserna var placerade i midjehöjd på väggen innanför motfyllningen, se figur 56. Två av mätplatserna var placerade på golvet, den ena i mitten och den andra nära ytterväggen.



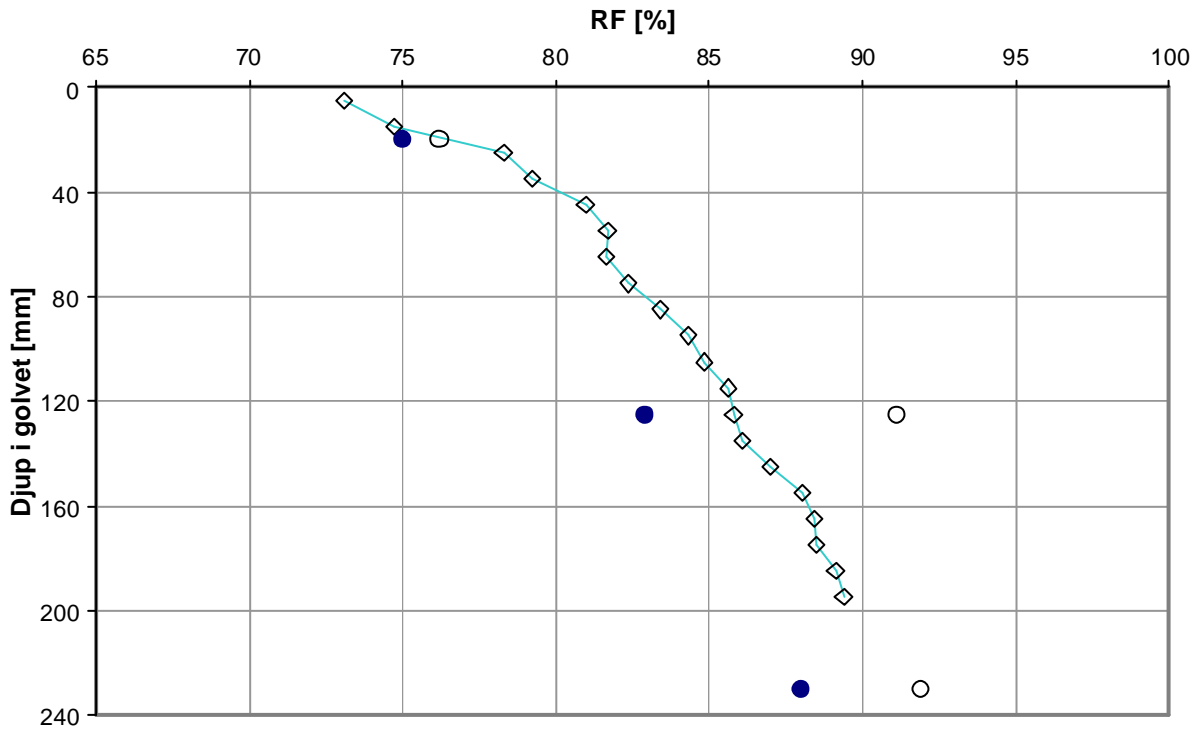
Figur 56. Mätpunkternas placering i lokalen

De uppmätta fuktprofilerna med OE-metoden ser rimliga och riktiga ut. Avvikelsen mellan OE-metoden och Humi-Guard är mycket liten i de flesta mätningarna, endast någon enstaka % RF. Dock är skillnaden stor i några enstaka fall, på den djupaste nivån i figur 57 samt på mellannivån i figur 58 skiljer metoderna sig åt omkring 5 % RF.

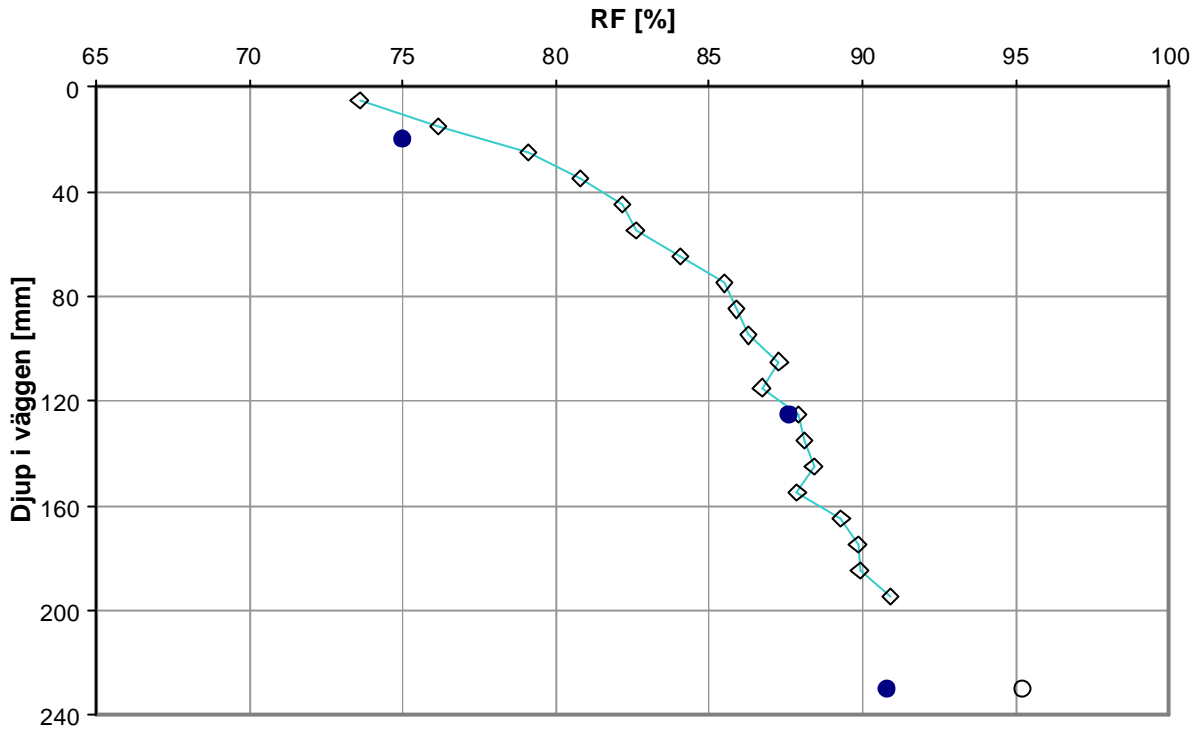
Resultaten av mätningar i väggen visar en större samstämmighet mellan de olika mätmetoderna, se figur 59 och 60.



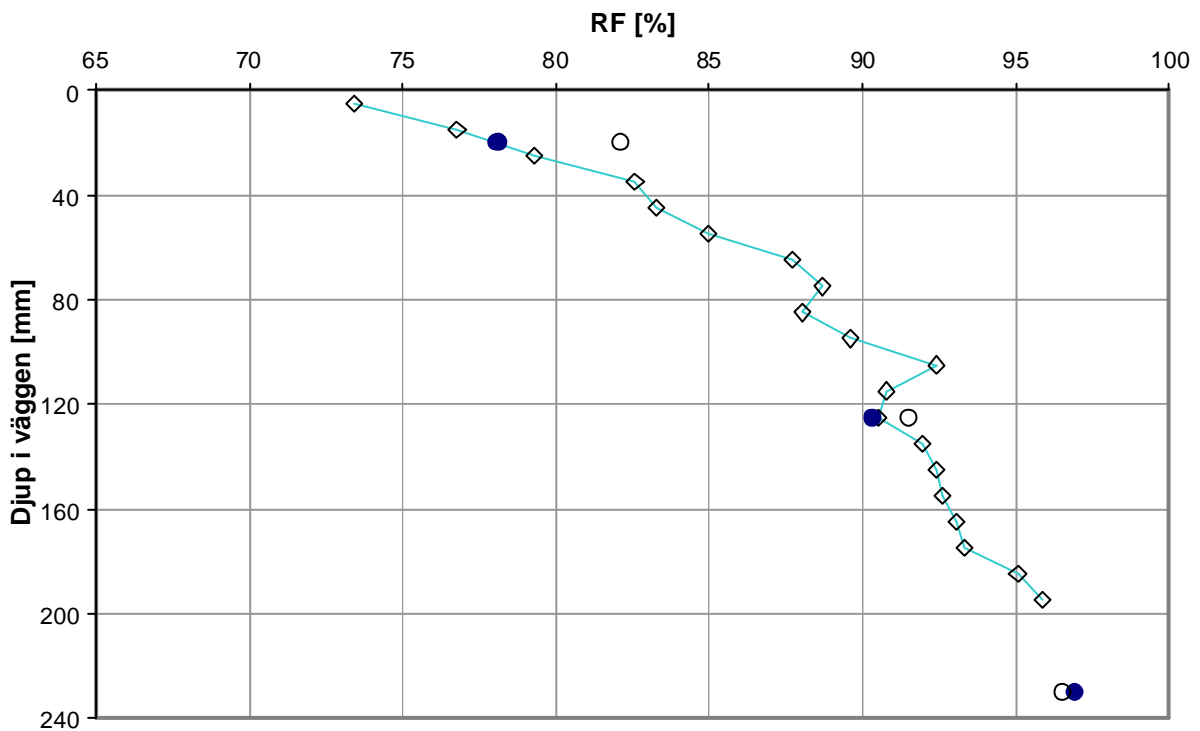
Figur 57. Uppmätt fuktprofil med OE-metoden i mätpunkt G I. Ofyllda ringar visar uppmätta värden med Humi-Guard vid samma tidpunkt och fyllda ringar efter 4 månader.



Figur 58. Uppmätt fuktprofil med OE-metoden i mätpunkt G II. Ofyllda ringar visar uppmätta värden med Humi-Guard vid samma tidpunkt och fyllda ringar efter 4 månader.



Figur 59. Uppmätt fuktprofil med OE-metoden i mät punkt V I. Ofyllda ringar visar uppmätta värden med Humi-Guard vid samma tidpunkt och fyllda ringar efter 4 månader.



Figur 60. Uppmätt fuktprofil med OE-metoden i mät punkt V II. Ofyllda ringar visar uppmätta värden med Humi-Guard vid samma tidpunkt och fyllda ringar efter 4 månader.

9. Utvärdering av fuktnivå i konstruktionen

Fukten sitter inte jämt fördelat i en betongkonstruktion under uttorkning. Detta innebär att man ofta behöver göra någon form av utvärdering av mätresultaten från en fuktmätning. Vanligtvis använder man sig vid enklare mätsituationer av ett på förväg fastställt mätdjup, se kapitel 9.1. Detta är en enkel metod som ofta används i enkla mätsituationer.

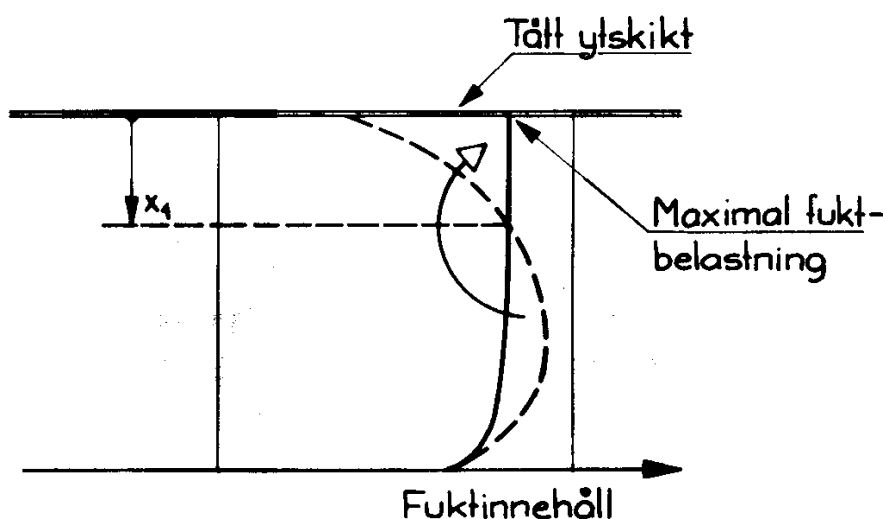
Vid svårbemästrade mätsituationer samt i objekt där det är av vikt att undvika onödig torktid kan fuktnivå utvärderas med hjälp av en uppmätt fuktprofil, se kapitel 9.2. Svårbemästrade situationer uppkommer exempelvis vid mätningar i konstruktioner med pågjutningar eller med golvvärme i drift.

Även vid normala mätningar av fuktnivå i betongkonstruktioner fås ett mer rättvisande resultat med hjälp av en fuktprofil. Detta gäller speciellt då mätningar görs där torkförloppet "forcerats" med hjälp av värme och/eller avfuktning. I de fallen finns många gånger en extra tillgänglig fuktkapacitet som man kan utnyttja.

9.1 Genom fastställt mätdjup

Utvärdering av fuktnivå i en betongkonstruktion under uttorkning utförs vanligtvis enligt Nilsson (1979), HusAMA (1998), RBK (2001) med flera hänvisar till denna metod. Referensen för denna metod har ofta på senare tid tilldelats forskaren Göran Hedenblad, med detta är felaktigt.

Enligt Nilsson (1979) får fuktfördelningen formen av en böjd profil då en betongplatta tillåts torka utåt. Man kallar ofta detta för konstruktionens fuktprofil. Vid dubbelsidig uttorkning av exempelvis en betongplatta är värdet hos fuktprofilen störst i mitten och minskar mot ytorna. I figur 61 illustreras denna fuktprofil med en streckad linje. Notera att uttorkningen gått något längre vid den övre ytan av betongplattan än vid den undre ytan.



Figur 61. Ursprunglig figur från Nilsson (1979) som illustrerar hur fuktfördelningen i betongbjälklag utjämnas efter att tätt ytskikt applicerats.

Då ett tätt ytskikt appliceras på betongytan kan kvarvarande fukt i plattan inte längre torka ut uppåt. Fuktnivån i plattan strävar då efter att jämna ut sig. Detta sker genom att fukten i de fuktigaste delarna av plattan omlagras till torrare områden. Förloppet innebär att fuktnivån under det täta ytskiktet successivt ökar till det når ett maximalt värde. Detta värde beskrivs i figur 61 som den maximala fuktbelastningen på ytskiktet.

Nilsson (1979) gjorde även en ansats att bestämma längden på avståndet X_1 i figur 61. X_1 är avståndet från betongytan till korspunkten mellan fuktfördelningen före och efter omfördelning av kvarvarande fukt. Alltså det djup i betongen där man redan innan omlagringen av fukten startat kan mäta värdet för den maximala fuktbelastningen på ytskiktet. Vi kallar idag avståndet X_1 för "mät djup".

I den ursprungliga bestämningen av mätdjupet utförde Nilsson (1979) beräkningarna på tre olika konstruktioner av undergrunden, en betongkvalitet, ett torkklimat samt maximal uttorkningstid 60 dygn, se tabell 9.

Tabell 9 Ursprunglig tabell från Nilsson (1979) som ligger till grund för mätdjup.

Torktid (dygn)	Djup x_1 , där $w(x_1) = \bar{w}$ (cm). $L = 10$ cm		
	Material under plattan PE-folie	Cellplast	Mineralull
4	2.7	2.6	2.3
7	3.0	3.0	2.7
15	3.6	3.3	3.2
30	4.2*	3.8*	3.3*
60	3.3	3.3	3.0
* = maximalt djup			

Med utgångspunkt från tabellen är den rådande uppfattningen idag att mätningar vid normala fall av enkelsidig uttorkning alltid skall ske på ett djup av $0,4d$, där d står för betongens tjocklek.

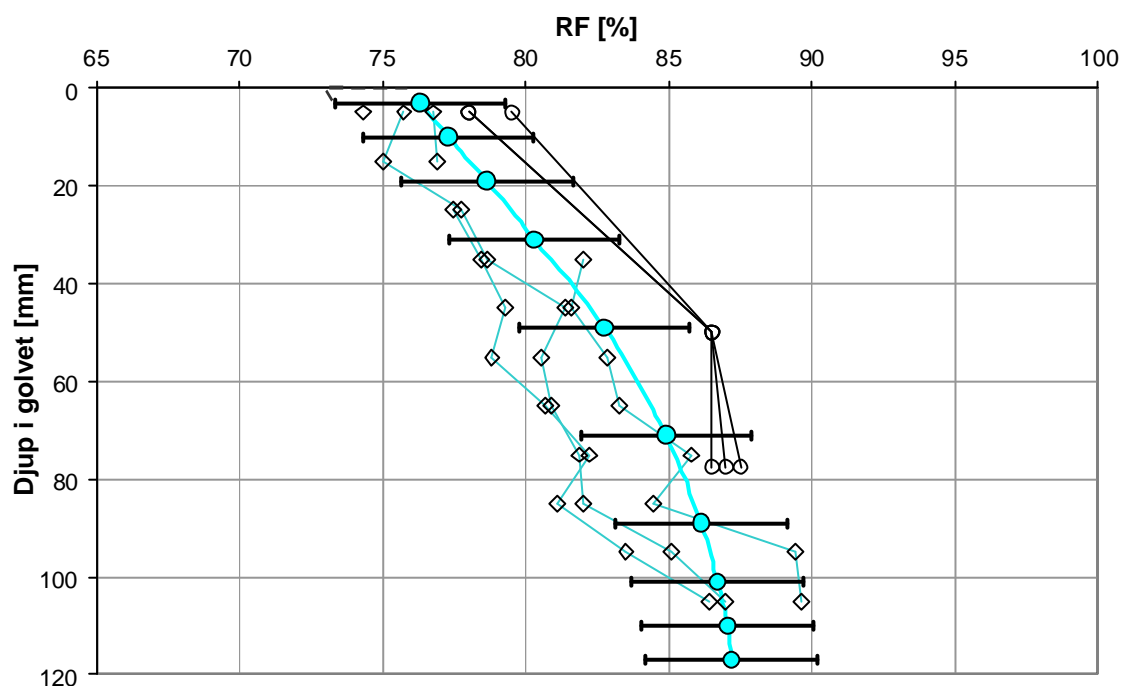
Vi vet dessutom i dag att värdena i tabell 9 endast är en grov uppskattning som ibland kan ligga långt på den säkra sidan. Anledningen till att värdena i tabellen inte längre kan betraktas som exakta är på grund av att fuktegenskaperna hos dagens material skiljer sig markant från varandra och inte minst från det modellmaterial som användes vid beräkningen för 25 år sedan. Dessutom innebär dagens uttorkningsklimat som ibland omfattar styrd värming och avfuktning att fuktprofilen i konstruktionen kan skilja sig markant från den som förutsätts för att värdena i tabell 9 skall stämma.

9.2 Utvärdering av fuktprofil

Vid utvärdering av en fuktprofil utförs för varje enskilt fall en liknande beräkning som i Nilsson (1979). Genom att använda den uppmätta fuktprofilen tillsammans med precisa materialegenskaper för betong, ytbeläggning och eventuellt andra ingående material kan den maximala fuktbelastningen på yt skiktet bestämmas med god noggrannhet.

Utvärdering av fuktprofil kan utföras med hjälp av datorprogrammet KFX03 eller motsvarande beräkningsmetoder. KFX03 används för närvarande av FuktCentrum i Lund, Avd. Byggnadsmaterial vid LTH, Inst. Byggnadsteknologi vid Chalmers samt en handfull fuktkonsulter i landet.

Vid utvärdering av en fuktprofil från en mätplats kan det ibland vara lämpligt att väga samman flera resultat från olika mätningar. I figur 62 är fuktprofilen med fyllda ringar en sammanvägning av resultatet från sex uppmätta fuktprofiler. Den sammanvägda fuktprofilen utgör sedan en del av ingångsdata i beräkningsprogrammet KFX03.

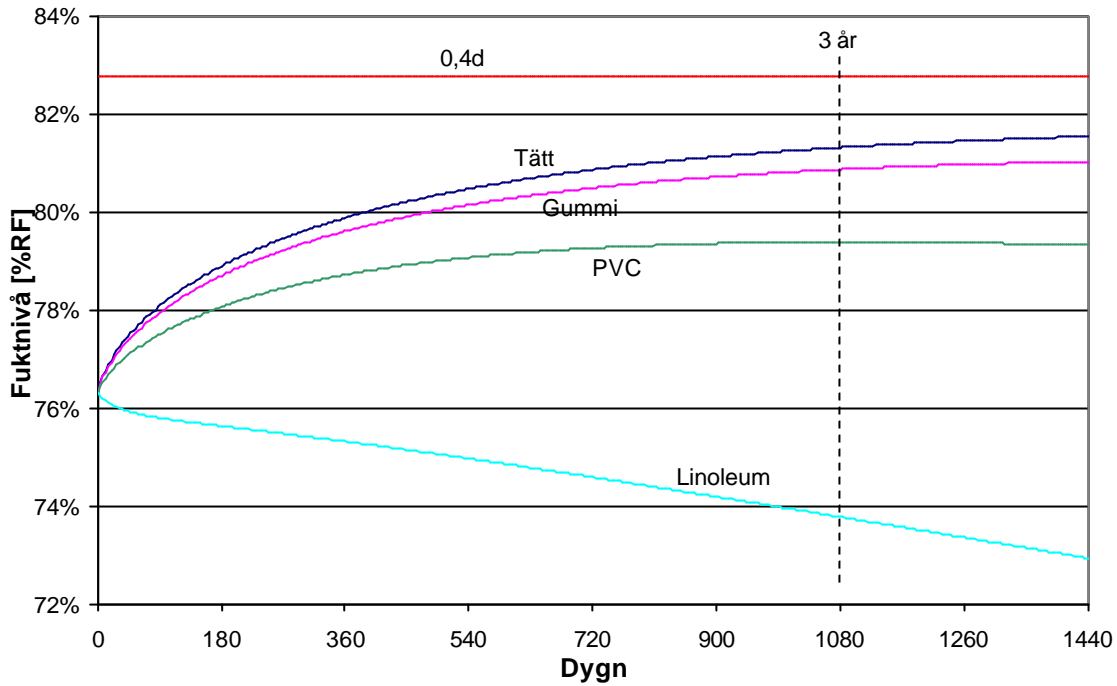


Figur 62. Sammanvägd fuktprofil av 6 olika mätningar på en mätplats, se figur 51. Fuktprofilens spridning på omkring ± 3 % RF är markerad.

Vid utvärdering av den sammanvägda fuktprofilen (figur 62) användes materialegenskaper för PVC, Linoleum och betong med vct 0,7 enligt Hedenblad (1996) samt materialegenskaper för Gummi enligt tillverkaren Freudenberg.

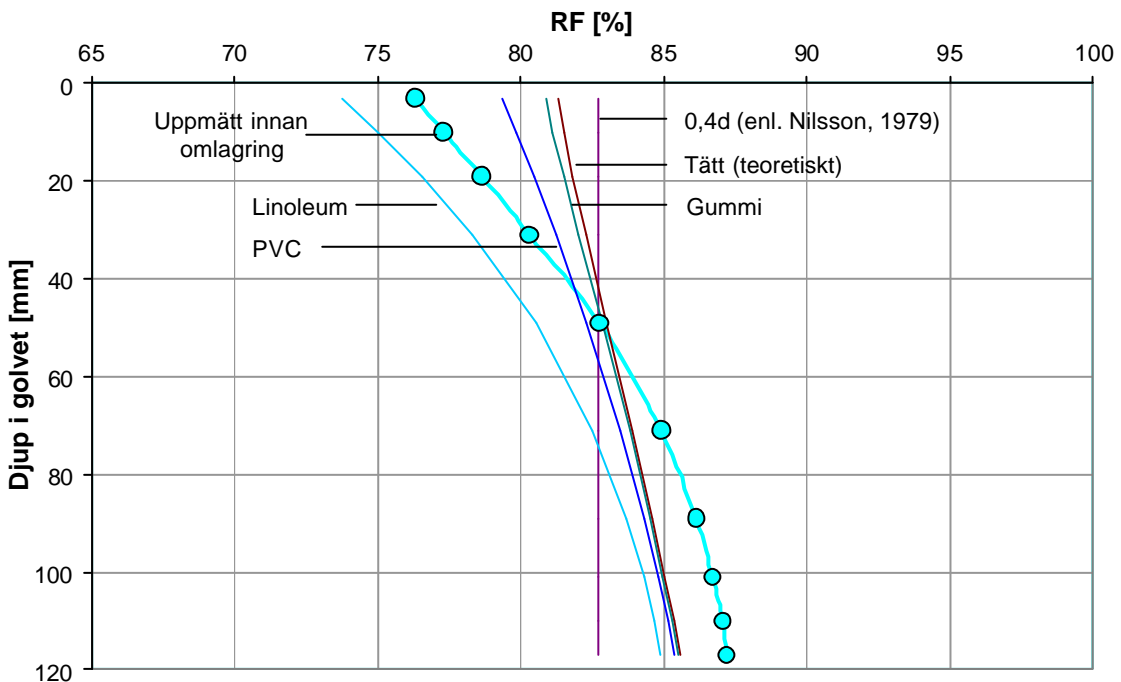
Utvärderingen är fuktprofilen gjord för fyra olika ytbeläggningar med olika täthet samt dessutom jämförd med vädret på "mät djupet". Resultatet från utvärdering av en fuktprofil kan antingen presenteras som fuktbelastning på yt skiktet över tiden, se figur 63, eller som konstruktionens fuktprofil vid en viss tidpunkt. I figur 64 visas beräknade fuktprofiler tre år efter mattläggning.

Grafen som är markerad "Tätt" avser en absolut tät ytbeläggning (teoretisk).



Figur 63. Fuktbelastning under ”tätskiktet” under fyra år för olika täta skikt.

Det teoretiska värdet (ca 83 % RF) på mätdjupet 0,4d uppnås inte med någon ytskikt enligt beräkningsresultaten i figur 63. Med en normal PVC-matta ($Z=2000 \cdot 10^3$ s/m) blir maximal fuktbelastning på ytskiktet omkring 79 % RF, det vill säga 4 % RF på säkra sidan! Med linoleummatta på golvet blir det ännu mer gynnsamt, RF överstiger då aldrig ens 77 % RF.



Figur 64. Uppmätt fuktprofil (med ringar) samt beräknade fuktprofiler efter tre år (maximal belastning på ytskikten) med olika täta ytskikt.

10. Mätosäkerhet

Utvärderingen av mätosäkerheten för OE-metoden är utförd enligt samma metod som använts av Sjöberg (1998) och sedermera även av RBK (2001).

De olika faktorerna hos OE-staven, under handhavandet och slutligen vid utvärderingen som kan bidra till metodens osäkerhet har identifierats, dokumenterats och kvantifierats.

10.1 RF-trissor

Skillnader mellan olika individer av RF-trissor har studerats av Esping (2001). Skillnaden är mycket liten och den standardiserade avvikelsen i försöket vid 20°C som ligger bakom framtagandet av fuktjämviktskurvan i kapitel 4.2 är $\pm 0,53$ % RF i intervallet 70 – 95 % RF.

10.2 Förkonditionering

Förkonditionering av RF-trissor syftar till att säkerställa att samtliga RF-trissor har ett fukttillstånd av 75 % RF och är under absorption. Är detta inte säkerställt skall RF-trissor inte användas för mätningar. De måste först förkonditioneras på riktigt sätt. Denna faktor lämnar inget bidrag till den totala standardiserade osäkerheten vid korrekt utförd förkonditionering.

10.3 Hopsättning av OE-stavar

Hopsättningen av OE-stavar skall utföras i samma klimat som sista steget i förkonditioneringen. Om OE-stavarna sätts samman i annat klimat riskerar RF-trissornas fukttillstånd att förändras. Detta kan påverka mätresultatet markant, speciellt i mätpunkter vars fuktnivå är omkring 75 % RF. Denna faktor lämnar inget bidrag till den totala standardiserade osäkerheten om hopsättningen sker på korrekt sätt i rätt klimat.

10.4 Borrning av mätthål

Borrning av mätthål skall följa rutinen som beskrivs av RBK (2001), eller nyare anvisningar från RBK. Se bilaga 2. Denna faktor lämnar inget bidrag till den totala standardiserade osäkerheten om borrning av mätthålen utförs enligt bilaga 2.

10.5 Transport av OE-stavar och montering i mätthål

OE-stavarna skall förpackas och transporteras på sådant sätt att den förkonditionerade fuktnivån inte förändras. Tiden OE-stavarna exponeras mot omgivande luft vid montering i mätthål skall minimeras för att minska risken för luftens påverkan och därmed felaktiga resultat.

Inverkan av tiden mellan borrning av mätthål och montering av OE-stavarna har studerats av Ohlsson & Mikolajewski (2003) och beskrivs även i kapitel 7.6. Sammanfattningsvis är avvikelsen (medel) samt osäkerheten (Std av) som minst om OE-staven monteras 3 dygn efter att mätthålet borrats, se tabell 10.

Tabell 10. Osäkerhet som beror av tid mellan borring och montering.

Avvikelse OE – Vaisala	Tid till montering [dygn]		
	0	3	7
Medel [% RF]	1,24	0,43	-0,90
Std av [% RF]	0,86	0,49	1,18

10.6 Jämviktstid i mät hålet

Tiden som OE-stavarna sitter i mät hålen är avgörande för om fuktnivån i RF-trissorna hinner komma i jämvikt med omgivande betong. OE-stavarna måste sitta kvar i mät hålen erforderlig tid för att minimera risken för felaktiga resultat.

Inverkan av jämviktstiden för OE-stavarna i mät hålet har studerats av M Ohlsson & Mikolajewski (2003) och beskrivs även i kapitel 7.6. Sammanfattningsvis är avvikelsen (medel) ökar med ökad jämviktstid. Vid korta jämviktstider är värdet uppmätt med OE-metoden högre än med uttaget prov (Vaisala) för att vid längre jämviktstider bli tvärt om, se tabell 11.

Osäkerheten (Std av) är som störst vid korta jämviktstider, dock finns det ingen entydig trend i de mätningarna som gjorts.

Tabell 11. Osäkerhet som beror av tiden OE-staven är monterad i hålet.

Avvikelse OE – Vaisala	Jämviktstid i mät hålet [dygn]			
	7	14	28	56
Medel [% RF]	-0,19	0,23	1,12	1,39
Std av [% RF]	0,71	0,75	0,44	0,65

10.7 Hysteres

Betongen närmast mät hålet lämnar från sig fukt till RF-trissan i och med att denna monteras i mät hålet. Detta sker under förutsättning att betongen är fuktigare än 75 % RF. Är betongen däremot torrare än 75 % RF kommer den istället att ta åt sig fukt från RF-trissorna. Den fukt som transporterats in i OE-staven ersätts efter hand av fukt från omkringliggande områden i betongen, längre bort från mät hålet. Detta samspel mellan olika fuktiga partier gör att betongen närmast borrhålet rör sig på en övergångskurva (hysteres) från desorption till absorption på jämviktsfuktkurvan. Efter ett tag när fuktnivån i RF-trissan jämnats ut återgår betongen till desorption igen.

RF-trissan som monteras i mät hålet kommer på motsvarande sätt att initieellt fuktas upp av betongen. Om OE-staven sitter i mät hålet under lång tid kommer den slutligen att komma i jämvikt med betongen som då torkar. Detta innebär då att RF-trissan kan röra sig utmed en övergångskurva (hysteres) från desorption till absorption på jämviktsfuktkurvan.

Det finns inget enkelt svar på i vilken omfattning dessa effekter påverkar mätresultatet. Resultaten från de utförda mätningarna har dock inte visat på att detta fenomen bör beaktas särskilt.

10.8 Läckage mellan RF-trissor

Tätningarna av neoprengummi sluter sannolikt inte helt tätt mellan RF-trissor. Enligt en undersökning utförd av Esping (2001) som redovisas i kapitel 6 är tätningens effektiva ånggenomgångsmotstånd $Z = 175 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. Läckaget mellan två intilliggande RF-trissor blir då enligt beräkningarna omkring $2 \cdot 10^{-3} \text{ g}$ per vecka och % RF. Detta motsvarar en förändring av fuktnivån i RF-trissor på 0,1 % RF.

10.9 Urtagning samt transport av OE-stavar till mätlab

OE-stavarna skall förpackas och transporteras på sådant sätt att den uppmätta fuktnivån inte förändras. Tiden OE-stavarna exponeras mot omgivande luft vid urtagning ur mätbehållare skall minimeras för att minska risken för luftens påverkan och därmed felaktiga resultat.

Det finns en ökad risk för kondens i transportbehållaren om mätningen utförs i betongkonstruktion med förhöjd temperatur. Om kondensen uppkommer måste detta noteras och beaktas vid utvärderingen.

Inverkan av tiden vid urtagning av OE-stavarna ur mätbehållare har studerats av Ohlsson & Mikolajewski (2003) och Esping (2001) samt beskrivs även i kapitel 5.3. Sammanfattningsvis innebär 20 sekunder exponering av OE-staven mot luften att FK kan sjunka med $0,1 \cdot 10^{-3} [-]$. Detta motsvarar mindre än 0,05 % RF i intervallet 80 – 95 % RF.

Om uttagning och förpackning förbereds noggrant och sedan utförs snabbt kan tiden begränsas till mindre än 5 sekunder. Felet i mätningen skulle då kunna bli mindre än 0,5 % RF. Naturligtvis går det att kompensera för denna viktförlust och endast ta med osäkerheten i kompensationen vid beräkning av mätningens totala standardiserade osäkerhet.

10.10 Temperaturavläsning

Temperaturavläsningen påverkar uppmätt RF på två skilda sätt. Dels på grund av att OE-stavarna exponeras mot luften medan temperaturavläsningen sker, se kapitel 10.9, och dels genom att osäkerheter i mätningen av temperatur i sig påverkar utvärderingen av uppmätt RF-värde, se kapitel 10.15.

Tiden som OE-staven exponeras mot luften under temperaturmätningen skall minimeras för att minska mätningens osäkerhet. Detta sker bland annat genom att använda ändamålsenlig utrustning enligt kapitel 3 som teknikern är välbekant med. För övrigt är effekten av denna faktor inkluderad i effekten av faktorn som beskrivs i kapitel 10.9.

Osäkerheten i mätningarna av temperatur beror till stor del av metoden och utrustningen som används. I en undersökning gjord av Esping (2001) som även presenteras i kapitel 3.1 har Temp-trissornas avsvalningsförlopp studerats. I korthet sjunker mätvärdet med omkring 1°C per 30 sekunder.

Om uttagning, temperaturmätning och förpackning förbereds noggrant och sedan utförs snabbt kan tiden begränsas till mindre än 10 sekunder. Felet i mätningen skulle då kunna bli mindre än $0,3^\circ\text{C}$. Naturligtvis går det att kompensera för denna temperaturförlust och endast ta med osäkerheten i kompensationen vid utvärdering av mätningens totala standardiserade osäkerhet.

10.11 Vägning av RF-trissor

Vid vägning på mätlab skall tiden RF-trissor exponeras mot luften minimeras. Fenomenet och förloppen är desamma som vid urtagning av OE-stavarna ur mätålen, se kapitel 10.9.

Isärtagning av OE-staven skall göras med RF-trissor kvar i transportförpackningen. Vingmuttern och den översta täckbrickan avlägsnas först. Därefter kan OE-staven successivt dras upp och varje RF-trissa plockas ut och vägs efter hand innan näst RF-trissa dras upp.

Tiden för isärtagning och vägning av respektive RF-trissa kan begränsas till mindre än 20 sekunder om noggranna förberedelser görs. Felet i mätningen skulle då kunna bli mindre än 0,05 % RF enligt uppskattningen i kapitel 10.9. Naturligtvis går det att kompensera för denna viktförlust och endast ta med osäkerheten i kompensationen vid beräkning av mätningens totala standardiserade osäkerhet.

10.12 Torkning av RF-trissor

Tiden RF-trissor torkar i värmeugn är avgörande för hur mycket vatten som hinner avgå. Detta förlopp är studerat av Ohlsson & Mikolajewski (2001) och redovisas i kapitel 5.4.

I korthet visade studien att efter ett dygn i värmeugn (105°C) kvarstod 0,004 g vatten att torka ut till jämvikt. Detta motsvarar ett fel på omkring 1 % RF om uppmätt värde med RF-trissan var cirka 90 % RF. Efter två dygn hade felet halverats till motsvarande 0,5 % RF.

Det går naturligtvis att kompensera för denna avvikelse och endast ta med osäkerheten i kompensationen vid summeringen av mätningens totala standardiserade osäkerhet.

10.13 Vägning av RF-trissornas torrsvikt

Vid vägning av RF-trissornas torrsvikt skall tiden RF-trissor exponeras mot luften minimeras. Fenomenet och förloppen är snarlika de som råder vid urtagning av OE-stavarna ur mätålen samt vägning av RF-trissor, se kapitel 10.9 och 10.11.

RF-trissornas upptagning av fukt från torrsvikt har studerats av Esping (2001) samt Ohlsson & Mikolajewski (2003) och redovisas även i kapitel 5.5. I korthet visar undersökningarna att vid 20 s exponering mot luften ökar RF-trissornas fuktkvot $0,5 \cdot 10^{-3}$ [-] vilket motsvarar ett fel på 0,15 % RF för högt mätvärde om uppmätt värde med RF-trissan var omkring 90 % RF. Vid en reducering av tiden till 10 sekunder är motsvarande fel hos mätvärdet mindre än 0,1 % RF.

Det går naturligtvis att kompensera för denna avvikelse och endast ta med osäkerheten i kompensationen vid summeringen av mätningens totala standardiserade osäkerhet.

10.14 Utvärdering av profilens enskilda värden

Utvärdering av trissornas enskilda värden utförs enligt bilaga 1, beräkning av mätresultat. Denna rutin bygger på studier av Esping (2001) som även redovisas i kapitel 2-6.

Enligt utvärderingen av fuktjämviktskurvan i kapitel 4 är den standardiserade osäkerheten i mätvärden i intervallet 85 – 100 % RF mindre $\pm 0,5$ % RF, se tabell 12. Under 85 % RF är osäkerheten högre beroende på bristande samstämmighet i de olika mätningarna av RF-trissornas jämviktsfuktkurvor.

Tabell 12 Ungefärlig osäkerhet som beror av utvärdering av mätvärden.

	Mätintervall [% RF]		
	0 – 70	70 – 85	85 – 100
Std av [% RF]	2,0	1,0	0,5

10.15 Mätning vid annan temperatur än 20°C

Mätning som utförs i betongkonstruktion med annan temperatur än 20°C kan vara behäftad med en extra osäkerhet. Storleken på denna faktor bestäms av skillnaden i temperaturberoendet hos RF mellan trä och betong.

Vid mätning av betong med annan temperatur än 20°C skall uppmätt värde på RF-trissorna kompenseras för temperaturskillnaden enligt bilaga 1. Temperaturen som vägningen av RF-trissorna utförs vid är inte vässäntlig för denna faktor. Dock bör dessa mätningar alltid utföras vid rumstemperatur för att säkerställa bästa resultatet. Exempelvis är handhavandet och vågens prestanda bli bäst vid rumstemperatur.

Om korrektion för mätning vid annan temperatur än 20°C görs enligt bilaga 1 kan bidraget till den totala standardiserade mätosäkerheten från denna faktor försummas.

10.16 Utvärdering av fuktprofilen / 0,4d

Felaktig plattjocklek: Vid andra mätmetoder är man beroende av att veta plattjockleken eftersom man vill mäta på 0,4 av djupet. Denna mätning går ur på att få en fukt profil i betongkonstruktionen därför är man inte lika beroende av att veta plattjockleken, se kapitel 9.

10.17 Sammanställning

Sammanställningen i tabell 13 är gjord för en enskild mätsituation där montering av OE-staven sker direkt efter borring av mät hålet samt en jämviktstid på 7 dagar. Torkning av RF-trissor sker under två dygn i värmeugn. Mätvärdet hamnar i intervallet 85 – 100 % RF.

Tabell 13. Sammanlagd mätosäkerhet för OE-metoden.

		Korrektion + eller - [%RF]	Standard osäkerhet ± [%RF]	Kvadrat- summa
10.1	RF-trissor	–	0,53	0,28
10.2	Förkonditionering	–	–	–
10.3	Hopsättning av OE-stavar	–	–	–
10.4	Borring av mät hålet	–	–	–
10.5	Transport av OE-stavar och montering i mät hålet	1,24	0,86	0,74
10.6	Jämviktstid i mät hålet	0,19	0,71	0,50
10.7	Hysteres	–	–	–
10.8	Läckage mellan RF-trissor	–	0,1	0,01
10.9	Urtagning samt transport av OE-stavar till mät lab	–	0,05	0,025
10.10	Temperaturavläsning	–	–	–
10.11	Vägning av RF-trissor	–	0,05	0,025
10.12	Torkning av RF-trissor	–	0,5	0,25
10.13	Vägning av RF-trissornas torrvikt	–	0,1	0,01
10.14	Utvärdering av profilens enskilda värden	–	0,5	0,25
10.15	Mätning vid annan temperatur än 20°C	–	–	–
10.16	Utvärdering av fuktprofilen / 0,4d	–	–	–
Kvadratsumma		–	–	2,05
Total standardiserad osäkerhet				1,43

Den utvidgade mätosäkerheten med täckningsfaktor $k=2$ blir i detta exempel $\pm 2,86$ % RF.

11. Konklusion

OE-metoden är en lovande mätmetod som lämpar sig att användas i svårbemästrade mätsituationer samt då man vill ha ett exaktare resultat än det "mät djupet" ger.

Svårbemästrade situationer kan exempelvis vara vid mätningar i konstruktioner med pågjutningar (HD/F m.fl.) eller med golvvärme i drift.

Även vid normala mätningar av fuktnivån i betongkonstruktioner fås ett mer rättvisande resultat med hjälp av OE-metoden. Dessa resultat kan då användas för att reducera onödig torktid som annars behövs för att komma under gränsvärdet med oexakta mätningar. Genom att använda materialdata för den betong och det ytskikt som valts minskas osäkerheten i utvärderingen markant. Detta gäller speciellt då mätningar görs där torkförloppet "forcerats" med hjälp av värme och/eller avfuktning. I de fallen finns många gånger en extra tillgänglig fuktkapacitet som man kan utnyttja.

OE-metoden mäter och jämför flera värden intill varandra i en profil och därmed minskar effekten av slumpmässiga fel i mätningen. Detta tillsammans med fördelarna av utvärdering av en fuktprofil gör att OE-metoden i flera avseenden kan betraktas som mer exakt än mätningar på fastställt mät djup.

Vid jämförande mätningar i labb har OE-metoden uppvisat god överensstämmelse med RBK-godkända metoder. Vid jämförande mätningar i fält är överensstämmelsen inte lika god. Detta kan bero på bristande fältrutiner och/eller transportbehållare.

Den utvidgade mätosäkerheten med täckningsfaktor $k=2$ är $\pm 2,9$ % RF.

Projektets experimentella studier av OE-metoden har visat på lovande resultat men det kvarstår fortfarande delar som kan behöva förbättras. Dessa är främst följande tre delar.

Jämviktsfuktkurvan. För att öka noggrannheten i mätningarna bör en specifik jämviktsfuktkurva bestämmas för OE-metoden. Denna bör bland annat speciellt ta hänsyn till OE-stavens förkonditionering samt retarderad sorption.

Jämviktstider. Effekten under tidsförloppet mellan borring och isättning av OE-staven samt vid jämvikt för OE-staven i mät hålet bör utredas vidare.

Transportbehållare. Som en del i ett fungerande mätsystem för fältbruk bör en anpassad transportbehållare utvecklas.

12. Referenser

- Esping, O. 2001 Fuktmätning i byggnadsmaterial med OE-metoden- Utvärdering av en ny utrustning och metodik”, Examensarbete E-01:1. Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Greenspan, L. "Humidity Fixed points of Binary Saturated Aqueous solutions J.ResNBS A1977, 81(1), 89-96
- Hedenblad, G. 1996. materialdata för fukttransportberäkningar. Svensk byggtjänst, Stockholm. Publikation T19:1996.
- Hedlin, C. P. 1967. Sorption isotherms of twelve woods at subfreezing temperatures. Forest Products Journal, Vol 17, No 12, PP 43-48.
- HusAMA 1998, Allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten. Svensk Byggtjänst, Stockholm.
- Håkansson, H. 1998. Retarded sorption in wood – Experimental study, analyses and modelling. Department of Building science, Lund University. Report TABK--98/1012
- Johansson C. H. 1944. Fuktighetens absorption och vandring i byggnadsmaterial. Tekn. Tidskrift. H 42, Stockholm 1944.
- Nilsson, LO. 1979. Fuktmätning del 2. Byggfukt i betongplatta på mark, torknings- och mätmetoder. Avdelningen för byggnadsmateriallära, Lunds tekniska högskola. Rapport TVBM-3008.
- Ohlsson, M., Mikolajewski, M. 2003. Experimentell verifiering av en ny fuktmätningssmetod. Teknik och Samhälle, Malmö högskola. Examensarbete.
- RBK, 2001. Manual Fuktmätning i betong. Sveriges Byggindustrier Stockholm 2001-05-16. www.rbk.nu
- Sjöberg A. 1998. Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong med kapacitiva fuktgivare – en bedömning av faktorer som påverkar osäkerheten samt hur de kan minskas, Göteborg: Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers Tekniska Högskola 1998, ISBN 992-947645-8
- SS 021582, 1980. Svensk Standard, Swedish institute for standards.
- Wadsö, L. 1993. Studies of Water Vapor - Transport and Sorption in Wood. Division Building materials, Lund University. Report TVBM-1013.
- Wadsö, L. 1995. A method to measure sorption isotherms Division of Building Materials, Lund University. Rapport TVBM-7091.
- Wadsö, L., Markova, N. 2001. Comparison of three methods to find the vapour activity of a hydration step. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, no 51. Page 77 – 81.
- Williams, D. 1994. The Characterisation of powders by gravometric water vapour sorption. International Labmate.

Bilaga 1, Beräkning av mätresultat

Första steget i att utvärdera resultaten från mätningarna är att fuktkvoten hos RF-trissorna beräknas, se ekvation B1:1.

Fuktkvot

$$u = \frac{m_{våt} - m_{torr}}{m_{torr}} \quad [\text{kg/kg}] \quad (\text{B1:1})$$

u = fuktkvot [-]

$m_{våt}$ = RF-trissas vikt vid mättillfället [kg]

m_{torr} = RF-trissans torrsvikt (torkugn i 105°C) [kg]

Därefter beräknas teoretiskt RF som gäller om materialet håller 20°C enligt ekvation B1:2. Ekvationen är ursprungligen numrerad 5 i kapitel 4.2.

RF för 20°C:

$$\text{RF}(20) = -16266 \cdot u^4 + 17210 \cdot u^3 - 7213.3 \cdot u^2 + 1459 \cdot u - 21.3 \quad [\%] \quad (\text{B1:2})$$

RF(20) = relativ fuktighet vid 20°C [%]

Om mätningen inte är utförd vid 20°C beräknas korrektionsfaktor A enligt ekvation B1:3. Ekvationen är ursprungligen numrerad 4 i kapitel 4.2.

Korrektionsfaktor A

$$A = -7 \cdot 10^{-7} \cdot \text{RF}(20)^3 - 9 \cdot 10^{-5} \cdot \text{RF}(20)^2 + 0.016 \cdot \text{RF}(20) \quad [\%] \quad (\text{B1:3})$$

A = Korrektionsfaktor (se figur 17, sid 19) [%/°C]

Om mätningen inte är utförd vid 20°C beräknas RF för aktuell temperatur med hjälp av korrektionsfaktor A enligt ekvation B1:4. Ekvationen är ursprungligen numrerad 3 i kapitel 4.2.

RF för aktuell temperatur

$$\text{RF}(T) = \text{RF}(20) + A \cdot (T - 20) \quad [\%] \quad (\text{B1:4})$$

RF(T) = RH korrigerat för aktuell uppmätt temperatur [%]

T = Aktuell (uppmätt) temperatur [°C]

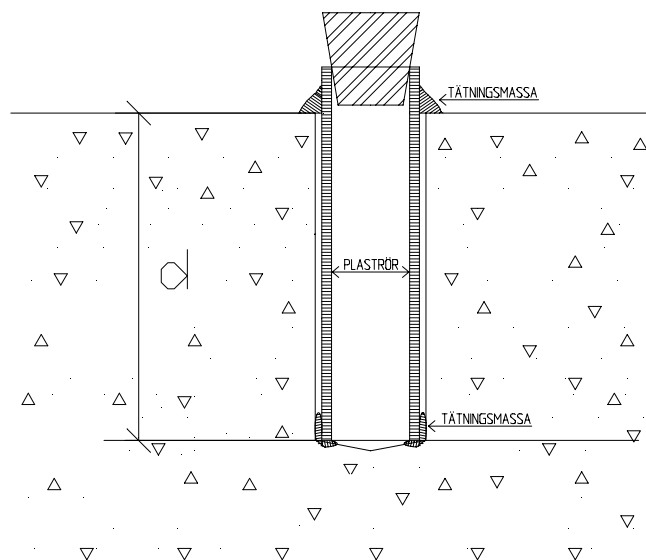
6 RUTIN FÖR BORRNING AV MÄTHÅL

Innan borrning av mätthål påbörjas skall rutin för RF-bestämning studeras för den mätmetod som avses att användas. De punkter som berör borrning av mätthål i aktuell rutin för RF-bestämning skall beaktas.

Under utförandet av denna rutin skall dokumentation ske på blankett F3, "Mätpunkter, fukt i betong", se flik 18.

1. Kontrollera att teoretisk plattjocklek stämmer med verkligheten enligt 2.5. Notera betongtjocklek, ekvivalent mätdjup samt om uttorkningen är enkelsidig eller dubbelsidig i protokollet.
2. Borra hål med en borr som har en diameter anpassad till vald mätmetod.
3. Hålets djup skall borraras med toleransen 0-2 mm för djupt.
4. Kontrollera mätdjupet med t.ex. ett skjutmått utmed borrhålets omkrets, mätdjup (d) se figur 6.1, och notera i protokollet. Om toleransen ej uppnås görs ett nytt hål på avståndet minst två gånger borrhålets djup från det första hålet.
5. Dammsug hålet eller blås ur det extremt noga, använd slang eller rör som når ner i botten av hålet. Inget borrkax skall finnas i hålet.
6. Täta själva hålet med ett mätrör avsett för vald mätmetod. Tätningen skall gå ända ner till avsett mätdjup. Kontrollera att montage är tätt och notera i protokollet.

Om metoden så kräver för att uppnå täthet skall nedre kanten av mätröret förses med tätningsmassa. Kravet som ställs på tätningsmassan är att den ej får avge eller ta upp fukt. Tätningsmassan får ej innehålla kemiska ämnen som kan påverka RF-givaren som används. Kontroll av att montage är tätt utförs t.ex. genom att försöka suga ur luften ur röret med för metoden anpassad gummiblåsa. Se t.ex. täthetsprovare till mätsystemet Humi-Guard.



Figur 6.1 Montage av plaströr för RF-mätning i borrhål.

7. Uptill tätar man anslutningen mellan betongyta och rör med tätningsmassa efter godkänd täthetskontroll.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	RBKs ordf signum	Flik:	Sida:
3	2001-04-02	2001-05-16	Ted Rapp		6	1(2)

RBK-auktoriserad fuktkontrollant - betongkonstruktioner

8. Dammsug eller blås ur hålet igen.
9. För att inte luftväxling skall ske under tiden mellan borring och mätning tillsluts röret med en för metoden anpassad gummiplugg / tätplugg.
10. Numrera / märk mätpunkten ovanpå gummi- / tätpluggen **och på betongen**.
11. Fyll i resterande uppgifter i protokollet. Mätpunkternas placering skall anges på ritning som bifogas mätprotokollet.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	RBKs ordf signum	Flik:	Sida:
3	2001-04-02	2001-05-16	Ted Rapp		6	2(2)