

Utvärdering av Probiks fuktindikatorer

**Laboratorie- och fältundersökningar
av Alfasensors fuktindikeringsteknik**

Anders Sjöberg

ISRN: LUTVDG/TVBM--04/3118--SE (1-79)

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 i Lund. Laboratedelen av projektet är utförd vid Lunds tekniska högskola medan fältundersökningen är genomförd vid bygget av en ny hörsalsbyggnad med bibliotek på universitetets campusområde i Skellefteå.

Drivande av fältundersökningen i Skellefteå har varit kvalitetsansvarige Göran Johansson vid Bygg-koordination AB i Skellefteå. Till sin hjälp har han haft Kurt Jämtemo, platschef på Peab AB samt Per-Martin Andersson vid Fastighets AB Polaris.

En stor del av projektets mätningar i laboratoriet vid LTH har utförts av Ellie Alexandrou med hjälp av avdelningens tekniska personal.

Företaget Alfasensor AB's grundare Alf Andersson samt produktutvecklare Katarina Haglund har under perioder deltagit aktivt i projektet. Deras kunskaper om indikatorerna har i många avseenden varit avgörande för rapportens slutliga utformning.

Rapporten innefattar dessutom ett stort antal undersökningar som utförts vid andra svenska högskolor. Dessa undersökningar är utförda av Andreas Gustafsson & Tobias Hagman, Niklas Agrell, Mansooreh Hajjari samt Bengt Pettersson & Daniela Skuflic.

Projektet har finansierats av SBUF, Svenska Byggbranschens utvecklingsfond. Medfinansierare till projektet har även varit Alfasensor AB, Peab AB samt Fastighets AB Polaris.

Lund, augusti 2004

Tekn.Dr. Anders Sjöberg
Projektledare

Sammanfattning

Rapporten beskriver en studie som syftar till att undersöka och beskriva tre typer av Probiks fuktindikatorer från Alfasensor AB. De olika typerna är Probiks CO, BI och HU. Studien är delvis utförd på laboratorium och delvis i fält på en byggarbetsplats. I rapporten har även erfarenheter från mätningar i befintliga byggnader sammanställts.

I studien har en rad experimentella försök av indikatorernas färgutslag gjorts i laboratorium vid Lunds tekniska högskola. Där har man generellt funnit att utslagen hos indikatorerna är pålitliga och stabila. De undersökta indikatorerna har alltid gett ett stabilt utslag vid den förutbestämda fuktnivån.

Indikatorerna bedöms även kunna visa det ackumulerade utslaget då fuktnivån varierar omkring indikatorns utslagsnivå. Utslaget stannar när RF sjunker under utslagsnivån och fortsätter sedan när RF nivån återigen stiger.

Indikatorerna uppvisar en något högre utslagsnivå med sjunkande temperatur. Temperaturberoendet är i storleksordningen 10 % RF i intervallet från 10 – 30°C. Även utslagshastigheten ändras något med temperaturen, så att utslaget sprider sig långsammare ju kallare omgivningen är.

Fältundersökningen som syftar till att samla in erfarenheter har gjorts på en av Peab AB's byggarbetsplatser i Skellefteå. Bland samtliga inblandade på arbetsplatsen råder det en enighet om att indikatorerna har hjälpt till att få ett torrare och sundare bygge. Framst har indikatorerna hjälpt till att öka förståelsen, och skapa ett engagemang, för fuktfrågor på bygget.

I rapporten beskrivs hur man kan använda indikatorerna i en rad olika mät-situationer på en byggarbetsplats. Ofta handlar det om att kontrollera klimatet så det är tillräckligt torrt för att inte skada en fukt känslig byggnadsdel. Det gäller att ha en tanke bakom indikatorns placering så man kan fatta kloka beslut på grundval av dess resultat säger byggets kvalitetsansvarige som varit drivande för fältundersökningen.

I de tidigare undersökningar som utförts med jämförande mätningar, i en rad byggnadsdelar, har det visat sig att indikatorerna med fullgott resultat kan ersätta traditionella RF-loggar. Fördelar med indikatorerna är framförallt att de är avsevärt billigare samt enklare att läsa av än loggar.

Rapporten är tänkt att kunna utgöra ett stöd för dem som vill börja använda indikatorn. Dock har inga aspekter rörande åldringsbeständighet berörts i den här studien.

Summary

This report describes a study undertaken to investigate and describe three types of Probiks humidity indicators made by Alfasensor AB. The three types are Probiks CO, BI and HU. The study has been carried out both in the laboratory and in the field at a building site. The report also sets out experiences gained from measurements in existing buildings.

In the study, a number of experimental tests regarding the colour changes of the indicators were made in the laboratory at Lund Institute of Technology. It was generally found that the colour changes produced by the indicators are reliable and stable. The investigated indicators always produced a stable colour change at the predetermined humidity level.

The indicators are also judged capable of showing the accumulated exposure to humidity above the predetermined level when humidity varies about the indicating level of the indicator. The indication stops when RH drops below the indicating level and continues when RH again rises.

The indicators exhibit a slightly higher indicating level when temperature is decreasing. Temperature dependence is in the order of 10% RH in the range 10 – 30°C. The rate of migration of the colour also changes slightly with temperature, so that the rate of migration is the slower, the lower the temperature of the surroundings.

The field investigation which had the object of collecting experience data was made at one of the building sites of the firm Peab AB at Skellefteå. All those involved at the site are agreed that the indicators have helped in making the buildings drier and healthier. The greatest effect of the indicators has been to enhance the understanding of moisture issues on the site and the willingness of all involved to deal with these.

The report describes how the indicators can be used in a number of measurement situations on a building site. It is often a matter of checking the climate to ensure that it is dry enough, so that a component susceptible to moisture is not damaged. According to the quality engineer at the site, who was the driving force for the field investigation, the siting of the indicators has to be chosen with care to ensure that the right decisions can be made on the basis of the results produced.

In earlier investigations in which comparative measurements were made in a number of building components, it was found that the indicators can be used with full confidence instead of traditional RH loggers. The chief advantages of the indicators are that they are much cheaper and easier to read than the loggers.

The report is intended to provide support for those who want to start using the indicators. However, no aspects concerning resistance to ageing have been investigated in this study.

Innehållsförteckning

<i>Sammanfattning</i>	1
<i>Summary</i>	2
<i>Innehållsförteckning</i>	3
1. Inledning	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Syfte	5
1.3 Avgränsningar	6
1.3 Genomförande	6
1.4 Tidigare studier	7
2. Indikatorn Probiks	9
Olika typer av indikatorer från Alfasensor AB.	10
3. Metoder	11
3.1 Klimatbox	11
3.2 Klimatburk	12
3.3 Sorptionsvåg	13
3.4 RF-mätning	14
3.5 Avläsning av indikatorer	15
3.6 Mättad saltlösning	16
4. Mätningar av utslag	17
4.1 Utslagens hastighet	17
4.1.1 Utslag för indikator CO	18
4.1.2 Utslag för indikator BI	21
4.1.3 Utslag för indikator HU	23
4.2 Ackumulativt utslag	25
4.3 Utslagets positionsberoende	28
5 Jämviktsfuktkurvor	31
5.1 Burkmetoden	31
5.2 Sorptionsvåg	32
5.3 Probiks CO	33
5.4 Probiks BI	34
5.5 Probiks HU	35

6 Platsbygge	36
6.1 Conwoodstolpar	38
6.2 Lättbalkar av trä	39
6.3 Prefabricerade betongbjälklag	41
6.4 Betonggolv	43
6.5 Platonmatta	44
6.6 Uppreglat golv	46
6.7 Träregetyterväggar	48
6.8 Träregetinnerväggar	50
6.9 Betongvägg	51
6.10 Materiallagring och torkklimat	52
7 Elementbygge	53
7.1 Väggelement	53
7.2 Golvbjälklagselement	55
8 Kryprumsgrunder	57
8.1 Kryprumsgrund 1	57
8.2 Kryprumsgrund 2	59
8.3 Kryprumsgrund 3	61
9 Källare	64
9.1 Källare 1	64
9.2 Källare 2	67
10 Kallvindar	69
10.1 Kallvind 1	69
10.2 Kallvind 2	72
11. Konklusion	75
11.1 Utslagetets tillförlitlighet	75
11.2 Byggarbetsplatser	77
11.3 Prefabricerade byggelement	78
11.4 Befintliga byggnader	78
12. Referenser	79
Bilagor	79

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Företaget Alfasensor AB, som startade 2001 på Chalmers Innovationscentrum i Göteborg har utvecklat en ny typ av fuktindikator. Målsättning med den nya indikatorn är att hjälpa byggbranschen bemästra fuktproblem under byggprocessen. Från första början tillverkade företaget bara en fuktindikator som kort och gott kallades "Alfasensorn". Den indikerade när fukten i omgivningen översteg 75 % RF. Kort därpå utökades sortimentet med två nya indikatorer för 58 respektive 85 % RF. I samband med att indikatorerna bytte namn från "Alfasensor" till "Probiks" introducerades även tre nya indikatorer för fuktnivåerna 32, 50 och 97 % RF.

Indikatorn används nu inom många andra områden än byggbranschen. Exempelvis används de i dag av läkemedel- och livsmedelsbranschen samt förpackningsindustrin.

Ibland de utmärkelser som Alfasensor AB vunnit för sin indikator kan nämnas första pris i Innovation Cup Väst som årets uppfinning 2001. Företaget Alfasensor AB har dessutom blivit utsett av Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademins som årets avknopningsföretag 2003.

1.2 Syfte

Syftet med den här studien är bland annat att noggrant undersöka och dokumentera indikatorernas egenskaper under kontrollerade former i laboratorieundersökningar. Studien skall också sammanställa erfarenheter från fältanvändning av indikatorerna för att därefter bedöma dess möjlighet att användas i byggprocessen.

Den experimentella undersökningen är viktig för att förstå indikatorns förutsättningar och därmed kunna inse vilka begränsningar mätningarna har. Dokumentation av erfarenheter från användning i fält är ett viktigt led i att sprida kunskap om indikatorns möjligheter.

Den här rapporten är tänkt att utgöra ett stöd för de som vill börja använda indikatorn. Det kan då röra sig om olika tillämpningar i byggbranschen, exempelvis som en del i ett system för kvalitetssäkring.

1.3 Avgränsningar

I projektet har endast tre typer av indikatorn använts. Dessa är Probiiks CO, BI och HU med gränsvärden omkring 58, 75 respektive 85%RF. Inga andra indikatorer än Probiiks från Alfasensor AB har studerats.

Samtliga indikatorer som användes i studien i laboratoriet var från en och samma batch, tillverkad hösten 2003. Indikatorerna som använts i fältförsöken kommer från olika batcher, mestadels tillverkade före batchen som använts i laboratoriet.

Inga aspekter rörande åldringsbeständighet eller blekning av indikatorernas utslag har berörts i denna studie.

1.3 Genomförande

I studien har en rad experimentella försök av indikatorernas färgutslag gjorts i laboratorium vid Lunds tekniska högskola. Dessa försök syftar bland annat till att bestämma noggrannheten i utslaget, vid tio olika fuktnivåer och tre temperaturer, samt att studera indikatorernas förmåga att följa variationer i omgivande klimat.

Fältundersökningen som syftar till att samla in erfarenheter har gjorts med hjälp av kvalitetsansvarige på en av Peab AB's byggarbetsplatser i Skellefteå. Tidigare undersökningar som utförts med jämförande mätningar, i en rad byggnadsdelar, beskrivs i denna rapport. Dessa undersökningar har utförts som examensarbeten på svenska högskolor.

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 kan två försök göras parallellt i två olika källare. I ett försök görs flera mätningar. Exempelvis kan mätningar med 10 indikatorer och 2 loggrar göras samtidigt i en källare.

1.4 Tidigare studier

Här beskrivs summariskt de tidigare studierna som utförts på indikatorerna. Vid de tillfällena kallades Probiks indikatorer från Alfasensor AB för Alfasensorer.

Affärsplan för Alfasensor.

Gustafsson och Nilsson (2002) beskriver hur man skapar en affärsplan för ett företag som liknar, och är i samma utvecklingsfas som, Alfasensor AB. De beskriver vidare hur byggbranschen är strukturerad ur Alfasensor AB's perspektiv. Avslutningsvis presenteras en grov skiss av delar ur en tänkbar marknadsplan för Alfasensor AB.

Mätning och tolkning av relativ fuktighet i kryppgrunder.

Gustafsson och Hagman (2002) jämförde utslag hos Probiks BI och HU med loggade fuktvärden i uteluftventilerade kryppgrunder. Undersökningen omfattar en teoretisk genomgång av problemställningen med fuktiga kryppgrunder samt hur indikatorerna kan användas för att detektera fuktiga kryppgrunder i hus av trä. I undersökningen sammanställs även kunskapsläget om gränsvärden genom att intervjua skadeutredare och byggare om de vanligaste skadorna och deras orsak.

Mätning och analys av relativ fuktighet i kallvindar.

Agrell (2004) jämförde utslag hos Probiks BI och HU med loggade fuktvärden i två uteluftventilerade kallvindar. Undersökningen omfattar en teoretisk genomgång av problemställningen med fuktiga kallvindar samt hur indikatorerna kan användas för att detektera fuktiga kallvindar av trä. Även denna undersökning sammanställer kunskapsläget om gränsvärden genom att intervjua skadeutredare och byggare om de vanligaste skadorna och deras orsak.

Mätning och analys av relativ fuktighet i källare.

Hajjari (2004) jämförde utslag hos Probiks BI och HU med loggade fuktvärden i två oisolerade källare. Undersökningen omfattar en teoretisk genomgång av problemställningen med fuktiga oisolerade källare samt hur indikatorerna kan användas för att detektera fuktiga oisolerade källare av sten med blindbotten av trä. Undersökningen sammanställer kunskapsläget om gränsvärden genom att intervjua skadeutredare och byggare om de vanligaste skadorna och deras orsak.

Utvärdering av tre typer av fuktdetektorer under kontrollerade förhållanden.

Alexandrou (2004) utförde kontrollerade studier i laboratorium av indikatorernas utslag. Undersökningen utfördes som parameterstudier där bland annat inverkan av tio olika fuktnivåer och tre temperaturer studerades. Mätningar utförda av Alexandrou ligger till grund för kapitel 4 i denna rapport.

Alfasensor- fuktindikator för torrt byggande.

Pettersson och Skufflic (2004) jämförde utslag hos Probiks BI och HU med loggade fuktvärden vid hantering och montering av byggelement för småhustillverkning. Undersökningen omfattar en teoretisk genomgång av problemställningen med fuktiga byggelement av trä.

Fuktproblematik i elektronikbranschen

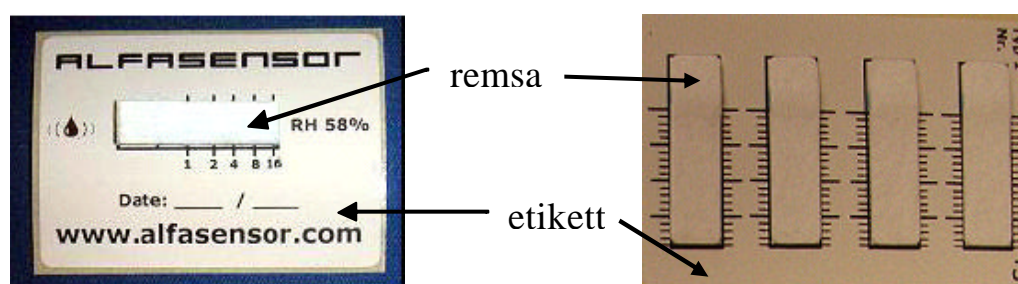
Jansson och Skantze (2004) har sammanställt gränsvärden för relativ luftfuktighet som används i elektronikindustrin med inriktning mot olika typer av standarder samt förpackningslösningar innehållande indikatorer.

Undersökningen omfattar en teoretisk genomgång av problemställningen med fuktbelastade elektronikkomponenter samt hur indikatorerna kan användas för att kvantifiera risken för problem. I undersökningen sammanställs även kunskapsläget om gränsvärden genom att intervjua produktion- och kvalitetsansvariga om de vanligaste skadorna och deras orsak.

2. Indikatoren Probiks

Innovatören Alf Andersen lanserade en helt ny typ av fuktindikator med unika egenskaper år 2001. Det nya med indikatorn var att utslaget var irreversibelt. Det vill säga att indikatorn inte går tillbaka, när fuktnivån sjunker, utan visar den högsta fuktnivån som förekommit i indikatorns omgivning. Det vanliga för fuktindikatorer är annars att de visar fuktnivån som råder för ögonblicket. Med den nya fuktindikatorn kan man även få ett mått på hur länge fuktnivån har överskridit ett förutbestämt gränsvärde.

Indikatorn består i huvudsak av en aktiv filtremsa som är fäst på en pappersetikett, samt en liten ”färgampull”. Se figur 1. Färgampullen är oaktiv så länge indikatorn är torr men när dess utslagsnivå överskrids börjar färgen i ampullen transporteras ut i den aktiva filtremsan. Färgutslaget sker i form av en blå front som utbreder sig längst med remsan. Utslaget blir allt längre med tiden som gränsvärdet överskrids. Dessutom är generellt sett utbredningshastigheten hos färgfronten något snabbare ju mer indikatorns gränsvärde överskrids.



Figur 1 Kommersiell indikator (Probiks CO) samt indikatorn med fyra aktiva ”remsor”, som använts i undersökningen i laboratoriet

Om fuktnivån igen sjunker under indikatorns utslag slutar fronten att vandra på den aktiva filtremsan, men det färgutslag man redan fått stannar kvar. Enligt uppgift kan utslaget stanna kvar i flera månader innan det bleks bort. Detta medför att man inte behöver avläsa indikatorn precis när det är som fuktigast utan kan göra det vid ett senare tillfälle. Indikatorn klarar också av att mäta fuktnivån i ett klimat som varierar omkring gränsvärdet. Färgfronten vandrar helt enkelt vidare varje gång gränsvärdet överskrids och stannar av varje gång det underskrids. Vid avläsning i ett sådant klimat får man reda på den sammanlagda tiden som fuktnivån varit högre än gränsvärdet.

Den kommersiella indikatorn kallades i början för ”Alfasensor”, efter företagsnamnet Alfasensor AB, men heter numera Probiks. Namnet alfasensor kan dock fortfarande finnas kvar på indikatorerna i några figurer samt i rapporter till de olika undersökningarna som ingår i denna studie.

I undersökningen i laboratoriet används speciellt tillverkade indikatorer. Dessa ”undersökningsindikatorer” har fyra remsor på varje etikett istället för en enda. Denna utformning sparar utrymme och ger därmed möjlighet att jämföra

utslagen hos ett större antal remsor i varje försök. Remsorna samt etiketten hos undersökningsindikatorerna är identiska med de kommersiella indikatorerna.

Olika typer av indikatorer från Alfasensor AB.

Probiks MI (32 % RF) är framtagen med tanke på gränsvärden som används i samband med frågeställningar i elektronikbranschen.

Probiks EX (50 % RF) ger utslag vid den nivå som man ofta använder vid övervakning i museer och i militära tillämpningar.

Probiks CO (58 % RF) är tänkt att användas som en vakt för att kunna avgöra om det finns risk för korrosion samt även deformation av förpackningar mm.

Probiks BI (75 % RF) har sitt aktiva utslagsområde där risken för biologisk tillväxt börjar att uppträda. Uteblivet utslag kan tolkas som att det föreligger mycket liten risk för tillväxt av biomassan i form av mögel och dylikt.

Probiks HU (85 % RF) visar vid utslag på en betydande risk för biologisk tillväxt om de övriga kriterierna i form av näring och etablerad kultur är uppfyllda.

Probiks AQ (97 % RF) ger en signal om att luften i stort sett är mättad med fukt och att det är stor risk för kondensutfällning på ytor.

3. Metoder

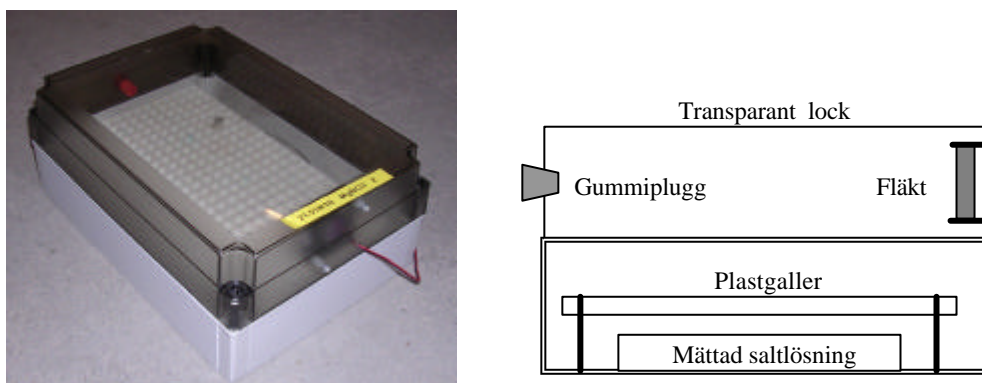
I detta kapitel beskrivs de olika metoderna som använts vid olika försök i laboratorieundersökningen. Med metoder menas bland annat utrustningar för olika försöksuppställningar, instrument för avläsning av relativ fuktighet (RF) samt procedurer att använda denna utrustning samt att läsa av utslaget hos indikatorerna.

Avslutningsvis beskrivs också de saltlösningar som använts för att hålla en konstant fuktnivå i ovanstående utrustning.

3.1 Klimatbox

Två olika typer av behållare användes för att generera specifika och stabila klimat i försöken. Dessa är dom här klimatboxarna samt de klimatburkar som beskrivs i kapitel 3.2. Vid de olika försöken där färgutslaget behöver avläsas på indikatorerna användes klimatboxar av plast med storleken 250×180×100 mm, se figur 2. Boxarna är avsedda för elinstallationer.

Till försöken utrustades klimatboxarna med varsin 12V fläkt (720 mW) för att ombesörja total omblandning av den fuktiga luften i boxen. Ett plastgaller försett med ben placerades i boxen, på gallret lades upp till nio indikatorer vars utslag med tiden studerades genom boxens lock. På sidan av boxarnas lock fanns även hål för montering av RF-givare. Då dessa hål inte användes var de förslutna med en tättslutande gummiplugg.



Figur 2. Klimatbox för studie av utslag med tiden hos indikatorerna.

Klimatet i boxarna styrdes på två principiellt olika sätt för temperatur och RF. Temperaturen hölls på konstant nivå genom att boxarna placerades i ett temperaturstabil ”klimatrum”. Temperaturnivån i dessa klimatrum var ungefär 10°, 20° respektive 30°C och varierade mindre än $\pm 1^\circ\text{C}$ på reguljär basis under försöken.

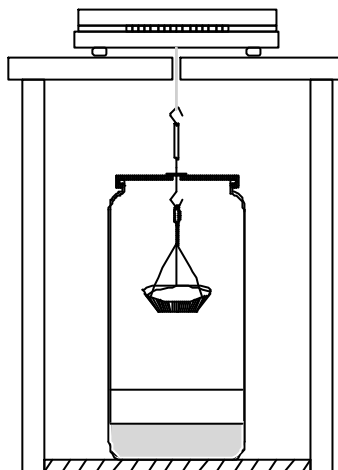
Fuktnivån i boxen styrdes genom att luften i boxen hela tiden stod i jämvikt med en mättad saltlösning i en skål på botten. Saltlösningarna beskrivs i kapitel 3.6.

3.2 Klimatburk

Vid bestämning av indikatorernas fuktupptagningsförmåga (sorptionsisoterm) användes två olika gravimetriska metoder. Dessa två metoder var med hjälp av dessa klimatburkar, som dessutom beskrivs utförligt av Wadsö (1995), samt med hjälp av sorptionsvåg, som beskrivs i kapitel 3.3.

Vid försöken med klimatburkar bestämdes fuktupptagningsförmågan hos en hel indikator i taget. Det vill säga att mätningen utfördes på både den aktiva remsan och etiketten den är fäst på, som en helhet. Vid användning av sorptionsvågen kunde endast en liten bit av den aktiva remsan studeras i taget.

Indikatorn fästes på undersidan av en aluminiumform så att dess aktiva yta exponerades direkt ned mot saltlösningen på burkens botten. Aluminiumformen hängdes upp i en anordning genom burkens lock. Denna anordning möjliggjorde anslutning till "undervägningen" på en våg. Detta innebar att indikatorn kunde vägas utan att burken behöver öppnas, se figur 3.



Figur 3. Klimatburk med indikator fastsatt på aluminiumform. Samt principskiss av provuppställning vid vägning under våg

Vågen som användes var av fabrikatet Sartorius BP221S och hade en upplösning på 0,0001 g.

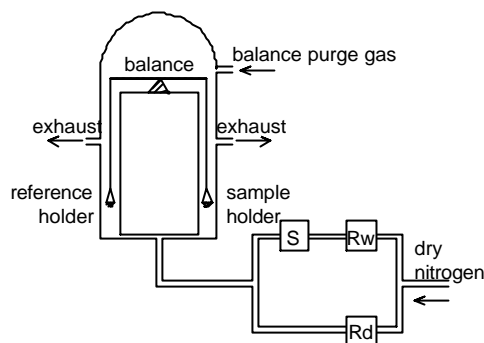
Klimatet i klimatburkarna styrs i princip på samma sätt som för klimatboxarna, se kapitel 3.1. Temperaturen hölls konstant 20°C vid samtliga försök. Inga mätningar med denna metod utfördes vid andra temperaturer.

Under försöket användes bland annat låga fuktnivåer i burkarna. Dessa fuktnivåer skapades av andra salter än de som användes i försöken med klimatboxarna. En komplett beskrivning av de olika saltlösningar som använts i studien finns i kapitel 3.6.

3.3 Sorptionsvåg

En sorptionsvåg av modellen DVS-1000 från tillverkaren Surface Measurement Systems användes för att bestämma indikatorns sorptionskurva. Se figur 4. Sorptionskurvan beskriver enkelt uttryckt den mängd vatten som den aktiva filtremsan på indikatorn tar upp vid olika RF hos omgivande luft.

Metoden som används för dessa studier i sorptionsvågen beskrivs utförligt av Daryl & Williams (1994) samt Wadsö & Markova (2000).



Figur 4. Sorptionsvåg DVS-1000 från tillverkaren Surface Measurement Systems. Principskiss av komponenter och flöden i DVS.

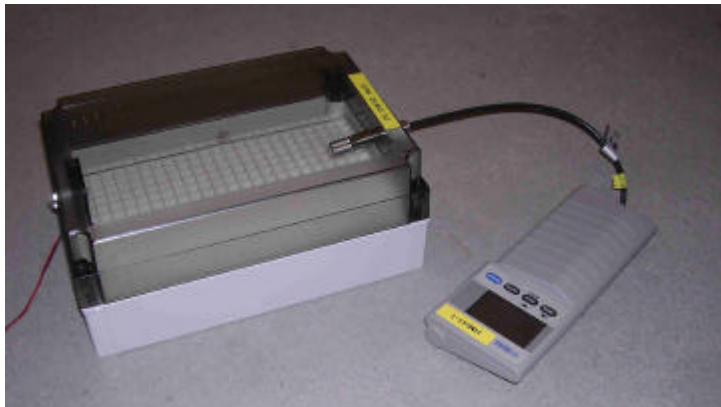
Endast en liten bit av den aktiva filtremsan på indikatorn kunde studeras i taget med denna utrustning. Maximalt placeras omkring 2 mg av provet i ena vågskålen i sorptionsvågen. Den andra vågskålen lämnas tom som referens. Vågens upplösning är 0,1 μg och mätområdet 150 mg.

Fuktnivån i luften som passerar de båda skålarna kan regleras steglöst i intervallet 0 – 98 % RF med 1 %-enhets noggrannhet. Sorptionsvågen har sitt arbetsområde i intervallet 0 – 48 °C.

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

3.4 RF-mätning

För kontroll och registrering av fuktnivån i klimatboxarna användes RF-prober av typen Vaisala HMP44 med tillhörande avläsningsinstrument HMI41, se figur 5.



Figur 5. RF-prob HMP44 monterad i klimatbox tillsammans med avläsningsinstrument HMI41.

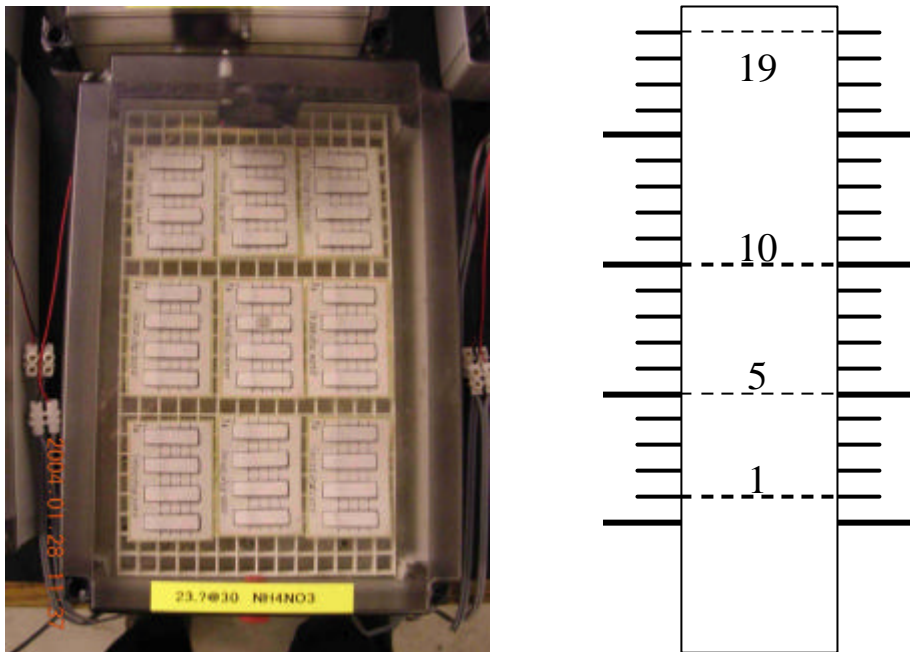
Proberna monteras i därför avsett hål, i sidan av klimatboxarnas lock, ungefär ett dygn innan avläsningen sker. Efter att värdena stabiliserats avlästes temperatur och RF för samtliga klimatboxar och noterades i ett mätprotokoll. Därefter fick givarna ofta sitta kvar i samma klimatbox under flera dagar medan värdena avlästes och noterades dagligen.

Avlästa RF-värden justerades mot individuella kalibreringskurvor för varje kombination av sensor och avläsningsinstrument. Värdena på temperaturen justerades dock inte på samma sätt. Detta beror på att temperaturgivarnas avvikelse från korrekt värde är mycket liten hos denna utrustning.

Uppmätta RF-värden jämfördes med de förväntade teoretiska värdena för respektive klimatbox. Osäkerheten i RF-mätningarna utvärderades enligt Sjöberg (1998) och redovisar i Alexandrou (2004) tillsammans med samtliga uppmätta RF-värden.

3.5 Avläsning av indikatorer

Vid tidpunkten för avläsning av utslagen togs en digital bild av samtliga nio indikatorer i varje box. Bilden togs rakt uppifrån genom locket på boxen utan att det genomskinliga locket öppnades. Bilden namngavs och lagrades i en PC för att senare kunna avläsas. Namnet på bilden noteras därefter i ett särskilt mätprotokoll.



Figur 6. Bild av indikatorer som ej slagit ut, tagen genom locket på en klimatbox. Principiell bild av indikatorns streckgradering.

På etiketten intill varje aktiv filtremsa finns en skala med 20 delstreck. Vid utvärdering av indikatorernas utslag avlästes och remsan tilldelades en siffra i intervallet 0 – 19. Graderingen för värdena vid avläsning illustreras i figur 6.

På vissa indikatorer utbreddes sig inte en helt jämn och skarp färgfront. Färgen kunde ibland lokalt flyta ut på en del av remsan och ibland ge en extra snabb men mycket ljusare front framför den egentliga fronten. Personalen på Alfasensor kallar dessa fenomen ”fingring” och ”blomning”. Några av fenomenen visas i bilaga 1 tillsammans med en redogörelse för hur Alexandrou (2004) tolkade indikatorernas utslag.

3.6 Mättad saltlösning

För att hålla en konstant fuktnivå i ett slutet utrymme är det vanligt att använda en mättad lösning av vatten och salt. Den mättade lösningen kan närmast beskrivas som en saltgröt där man tillsatt extra vatten så att en obruten vattenyta bildas cirka 1 cm ovanför ”gröten”. Med olika saltlösningar kan man uppnå en rad olika jämvikts-RF, se tabell 1.

Nedanstående värden för fuktnivåer som skapas i luft i jämvikt med dessa saltlösningar är hämtade ur litteraturen, för samtliga fall utom ett. För saltet Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) finns det inga säkra litteraturuppgifter att tillgå så jämviktsnivån som redovisas är uppmätt i en klimatbox under studien.

Värdena i tabell 1 nedan är hämtade från Greenspan (1977) om ej annat anges. I de fall där värdet för 10°C och 30°C saknas har saltet endast använts i klimatburkar där endast mätningar i 20°C ägt rum, se kapitel 3.2.

Tabell 1. Salter som använts för att ge olika fuktnivå, Greenspan (1977).

Namn	Beteckning	10° C	20° C	30° C
Litiumklorid	LiCl	–	11	–
Kaliumacetat	KCH_3COO	–	23	–
Magnesiumklorid	MgCl_2	–	33	–
Kaliumkarbonat	K_2CO_3	–	43	–
Magnesiumnitrat	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	57	54	51
Natriumbromid	NaBr	62	59	56
Ammoniumnitrat ¹	NH_4NO_3	68	65	59
Kaliumjodid	KI	72	70	68
Natriumklorid	NaCl	76	75	75
Ammonium klorid	NH_4Cl	81	79	78
Kaliumbromid	KBr	84	82	80
Kaliumklorid	KCl	87	85	84
Bariumklorid ²	BaCl_2	93	91	89
Kaliumsulfat	K_2SO_4	98	98	97

1) Uppmätt värde

2) ASTM (1991)

Osäkerheten i värdena som sammanställts i tabell 1 är enligt referenserna i storleksordningen $\pm 0,5$ % RF eller bättre. Det gäller för samtliga salter utom Bariumklorid (BaCl_2) som anges ha en avsevärt mycket större osäkerhet. Anledningen är antingen saltets egenskaper eller att ASTM (1991) har en konservativ inställning när de anger osäkerheten ± 2 % RF för Bariumklorid.

Salternas temperaturberoende är olika stora men generellt gäller att jämvikts RF sjunker när temperaturen ökar. Störst temperaturberoende av de använda salterna har Bariumklorid med 9 % RF / 20°C. Bland de minst temperaturberoende salterna återfinns bland annat Natriumklorid och Kaliumsulfat med cirka 1 % RF / 20°C.

4. Mätningar av utslag

I detta kapitel beskrivs de mätupställningar samt resultaten från de försök som gjorts på indikatorernas utslag i laboratorieundersökningen.

4.1 Utslagens hastighet

I det här försöket studerades färgutslaget hastighet hos tre typer av indikatorer i tio olika fuktnivåer för tre olika temperaturer.

Till försöket användes klimatboxarna som beskrivs i kapitel 3.1. Fuktnivåerna genererades med saltlösningarna som beskrivs i kapitel 3.6. Fuktnivåerna kontrollerades med RF-mätningar enligt kapitel 3.4. Utslaget hos indikatorerna med tiden avlästes enligt metoden som beskrivs i kapitel 3.5. Resultatet från undersökningen beskrivs i detta kapitel.

Efter etablering av klimatboxarna fick de stå orörda något dygn för att komma i jämvikt. Därefter placerades sammanlagt nio stycken indikatorer i varje klimatbox. Dessa var fördelade på tre indikatorer var av typerna CO, BI och HU. Sammanlagt användes 30 st klimatboxar, 10 st för respektive temperatur 10°C, 20°C samt 30°C. Jämvikts RF i dessa klimatboxar framgår av tabell 1, kapitel 3.6.

Utslaget hos indikatorerna avlästes därefter kontinuerligt under minst tio dygn för varje klimatbox. Intervall längden mellan avläsningarna ökade med tiden under mätperioden. I början av perioden skedde avläsningen med någon timmes mellanrum för att i slutet ske med någon dags mellanrum, se figur 7.

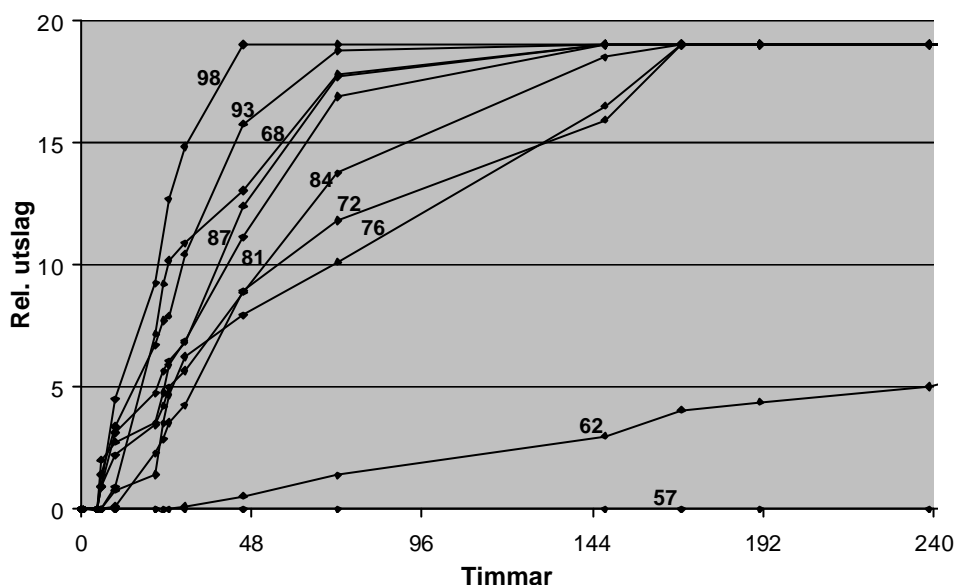


Figur 7. Exempel på utslag hos tre typer av indikatorerna vid 79 % RF. Bilderna är tagna efter 1, 2 respektive 6 dygns exponering.

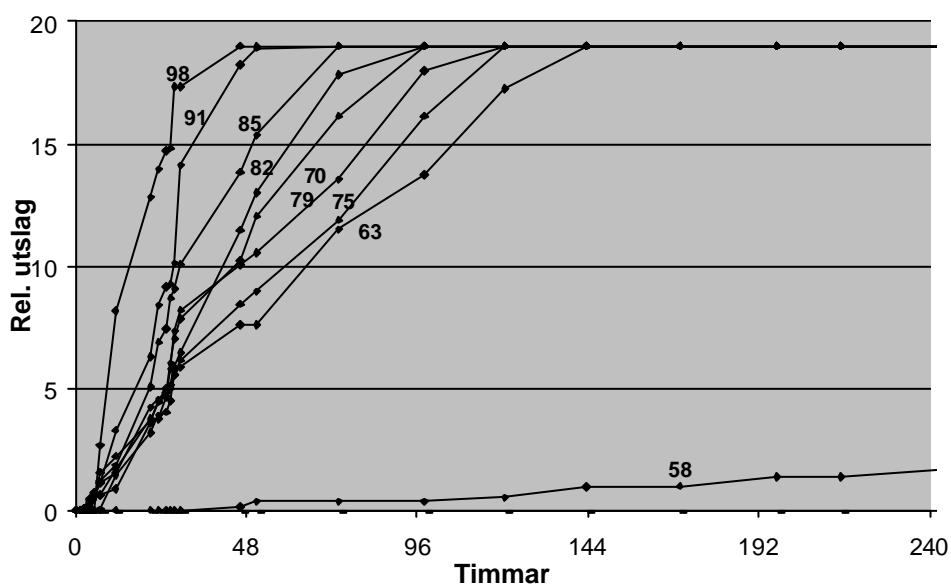
4.1.1 Utslag för indikator CO

I figur 8 – 10 sammanställs hastigheten hos utslaget vid olika fukt- och temperaturnivåer för indikator CO med utslagsnivå 58 % RF.

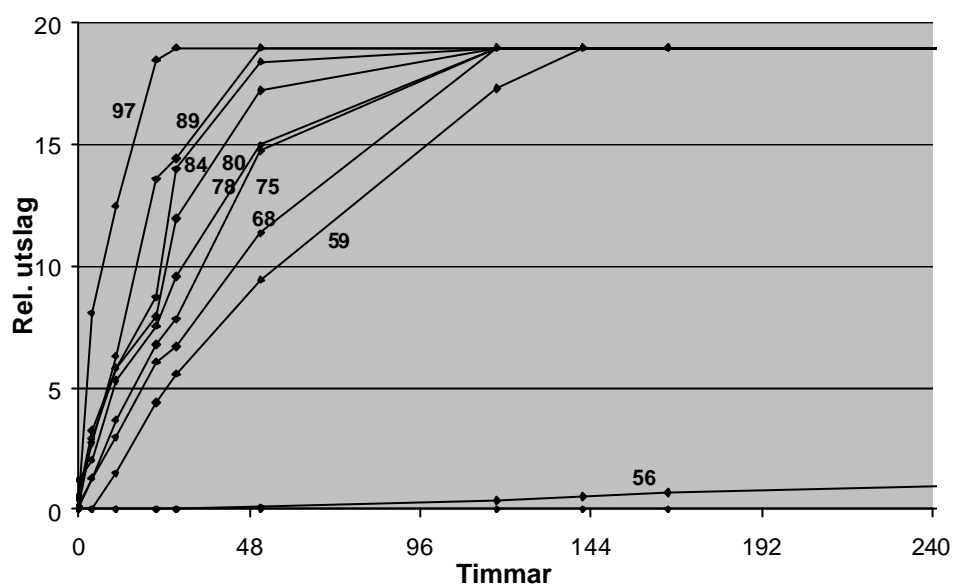
Linjerna i diagrammet redovisar medelvärdet för utslaget hos respektive indikator i de olika klimatboxarna och siffran vid respektive linje anger fuktnivån i klimatboxen. Varje punkt i diagrammen är ett medelvärde av tre indikatorer med fyra remsor på varje. Det vill säga att en punkt representerar ett medelvärde av tolv enskilda utslag.



Figur 8. Utslaget hos indikator CO (58 % RF) i olika fuktnivåer vid 10°C.



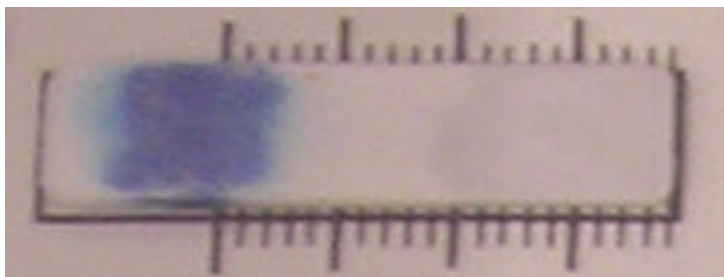
Figur 9. Utslaget hos indikator CO (58 % RF) i olika fuktnivåer vid 20°C.



Figur 10. Utslaget hos indikator CO (58 % RF) i olika fuktnivåer vid 30 °C .

Bilderna som tagits av indikatorernas utslag vid varje avläsning har dels utvärderats av Alexandrou (2004) och dels av personal på Alfasensor. Värden som redovisas här i kapitel 4.1 är medelvärden av dessa två avläsningar. I de flesta fall skilde det mindre än 1 skalstreck mellan de båda avläsningarna.

Då utslagen på indikatorerna rimligen sker med närmast konstant hastighet, vid en konstant RF-nivå, kan man tolka hopp och ojämnheter hos graferna i figurerna som ett mått på avläsningens osäkerhet. Det är förknippat med en betydande svårighet att bedöma värdet på utslaget då det ibland kan förekomma ojämnheter i färgfrontens främsta del, se figur 11. Genom att låta två oberoende personer läsa av utslagen från bilderna har osäkerheten i avläsningen kunnat reduceras något.



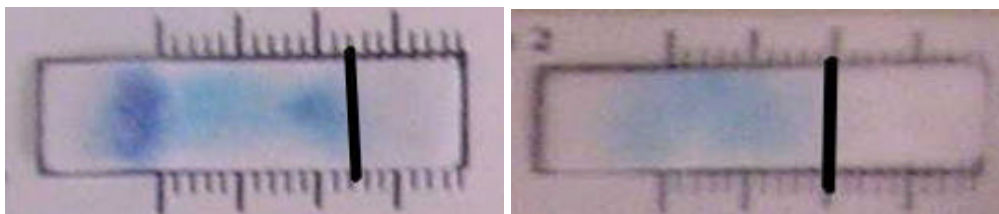
Figur 11. Exempel på remsa med jämn och tydlig färgfront.

I figur 8 ser man ett återkommande mönster av att indikatorn slår ut fortare ju fuktigare miljö den vistas i. I klimatboxen med 98 % RF tar det mindre än två dygn för maximalt utslag medan i boxen med 62 % RF är utslaget bara en fjärdedel efter 10 dygn. Detta generella beteende återfinns i försöksresultaten från samtliga tre temperaturer, figur 8 – 10.

Hastigheten i utslaget hos indikatorn verkar dessutom öka, för samma RF, om man höjer temperaturen. Genom att jämföra lutningen hos grafer i olika diagram kan man exempelvis se att linje för 75 % RF lutar kraftigast i figur 10 där temperaturen är högst. Lutningen för 75 % RF är avsevärt lägre i figur 8 där även temperaturen är lägre. Detta generella beteende återfinns för de flesta graferna i figur 8 – 10.

I figur 8 och 9 förekommer det en del grafer från indikatorer med ”snabbare” spridning än förväntat. Det vill säga att utslaget hos indikatorn går fortare än förväntat i en klimatbox med ett relativt sett lägre RF. Detta beteende har endast observerats i enstaka fall för indikator CO och verkar också vara mer framträdande vid lägre temperaturer.

Hos indikatorerna som uppvisar ett ”snabbare” beteende hos färgfronten initieras utslaget ändå vid exakt rätt fuktnivå. Efter det att färgfronten initierats sker spridningen av frontens främre del snabbare än hos övriga indikatorer. I figur 12 visas ett par av remsorna från olika sensorer med snabbare vandring av färgfronten än förväntat. Lägga märket till att färgfronten hos remsorna i figur 11 har en mycket ljusare blå nyans än det förväntade utslaget som visas i figur 11. Dessa fenomen kallas ”blomning” och ”fingring” på fackspråk.

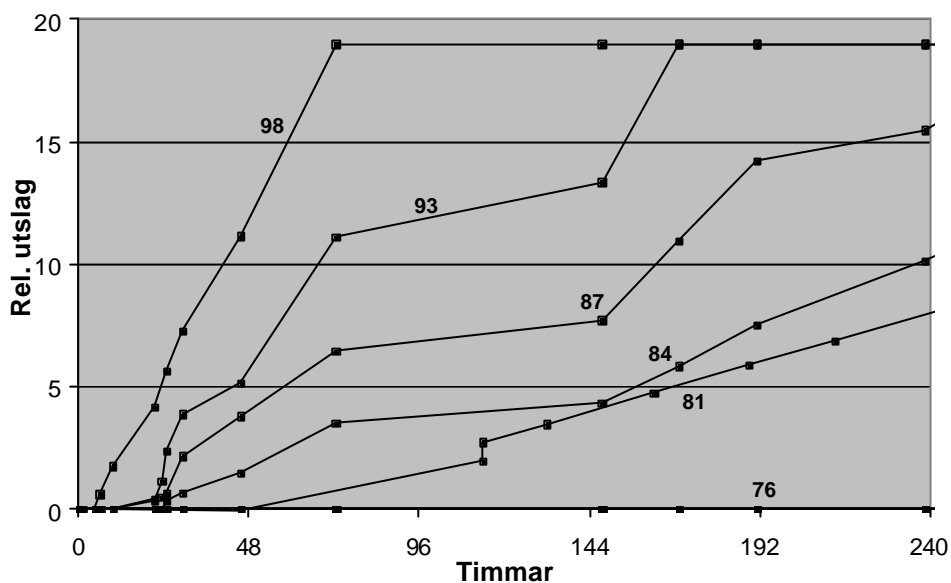


Figur 12. Exempel på färgfront hos remsor med ”snabbare” spridning än förväntat.

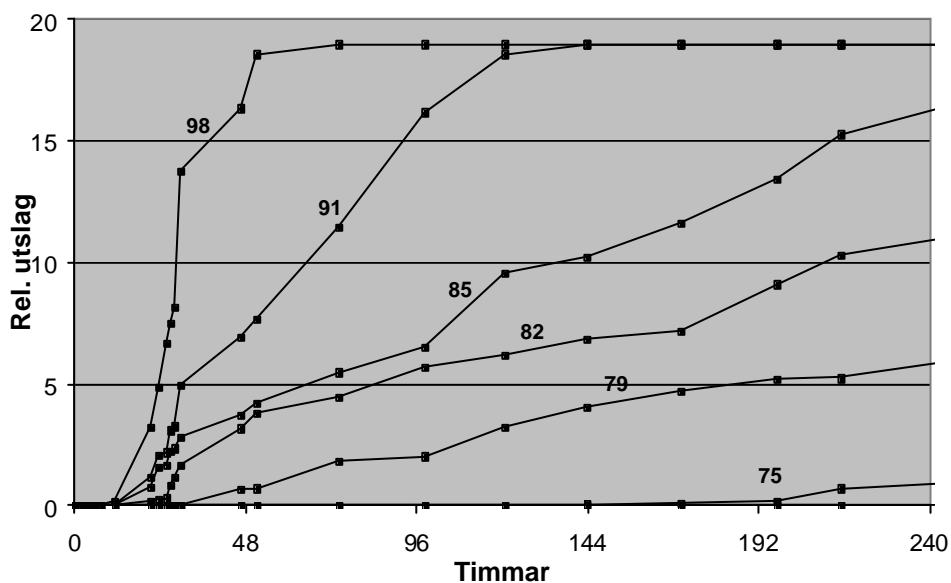
4.1.2 Utslag för indikator BI

I figur 13 – 15 sammanställs hastigheten hos utslaget vid olika fukt- och temperaturnivåer för indikator BI med utslagsnivå 75 % RF.

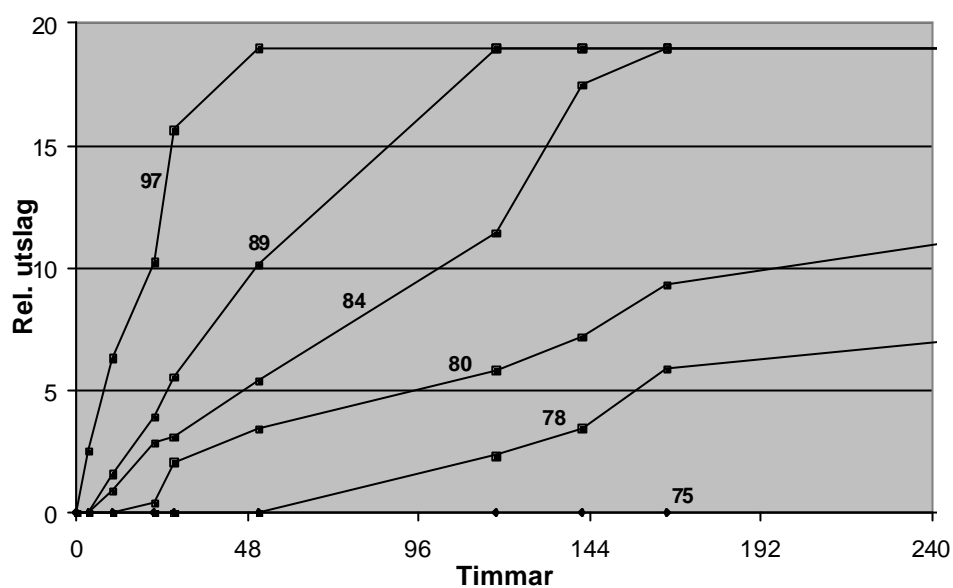
Linjerna i diagrammet redovisar medelvärdet för utslaget hos respektive indikator i de olika klimatboxarna och siffran vid respektive linje anger fuktnivån i klimatboxen. Varje punkt i diagrammen är ett medelvärde av tolv enskilda utslag.



Figur 13. Utslaget hos indikator BI (75 % RF) i olika fuktnivåer vid 10 °C .



Figur 14. Utslaget hos indikator BI (75 % RF) i olika fuktnivåer vid 20 °C .



Figur 15. Utslaget hos indikator BI (75 % RF) i olika fuktnivåer vid 30 °C .

Indikatorn har tendenser till ett svagt utslag redan vid 75 % RF i figur 14. Men utslaget blir egentligen inte distinkt förrän indikatorns utslagsnivå överskrider med ett antal %-enheter RF.

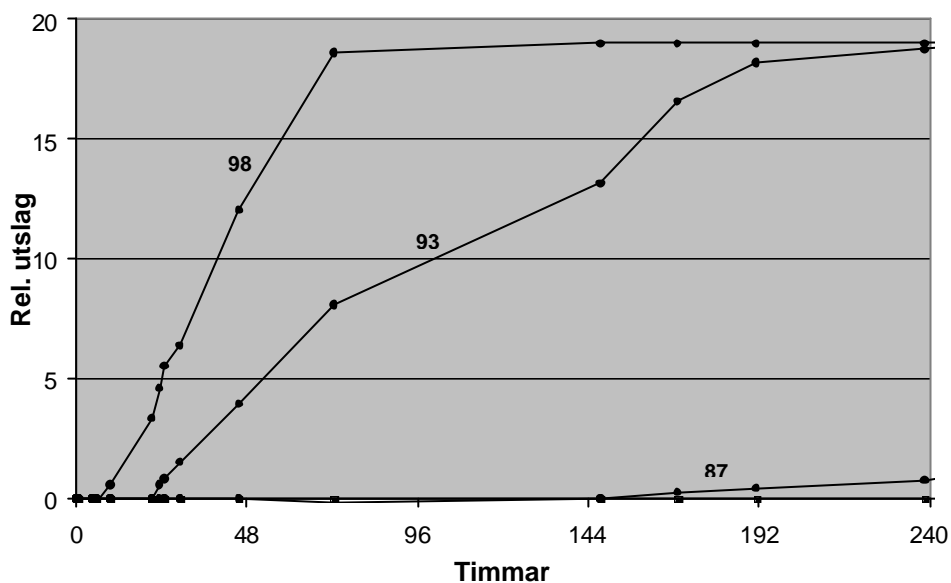
I figur 13 – 15 syns tydligt igen det generella beteendet att även denna indikator slår ut fortare ju fuktigare miljö den vistats i. Notera att det inte finns några ”omkastade grafer” för denna indikator.

Även temperaturberoendet framgår tydligt ur diagrammen. Hastigheten i utslaget hos indikatorn ökar för samma RF om man höjer temperaturen.

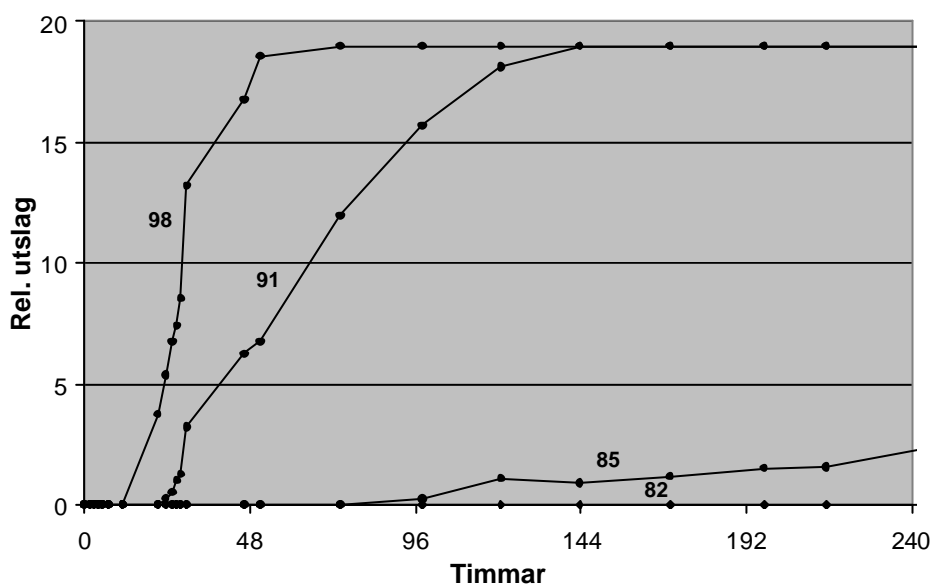
4.1.3 Utslag för indikator HU

I figur 16 – 18 sammanställs hastigheten hos utslaget vid olika fukt- och temperaturnivåer för indikator HU med utslagsnivå 85 % RF.

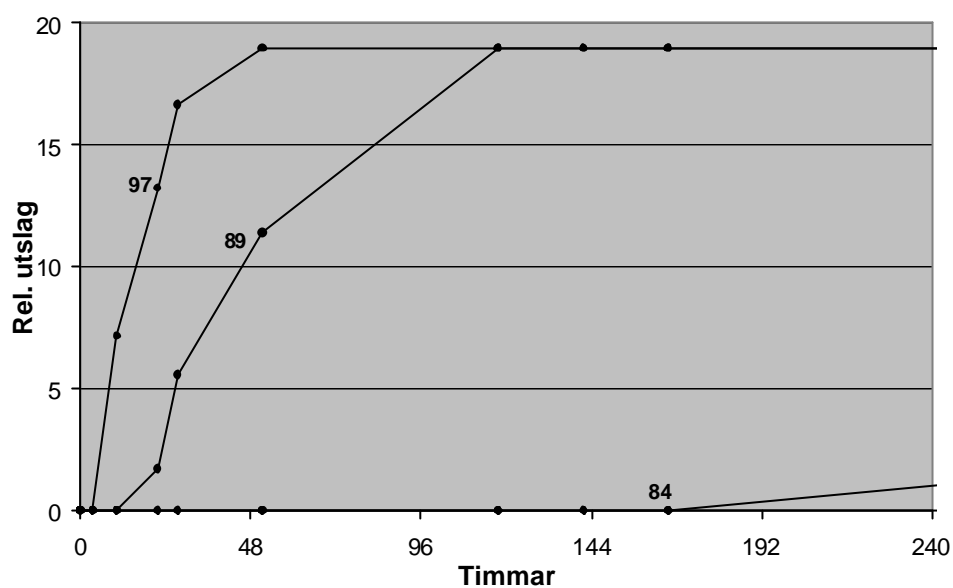
Linjerna i diagrammet redovisar medelvärdet för utslaget hos respektive indikator i de olika klimatboxarna och siffran vid respektive linje anger fuktnivån i klimatboxen. Varje punkt i diagrammen är ett medelvärde av tolv enskilda utslag.



Figur 16. Utslaget hos indikator HU (85 % RF) i olika fuktnivåer vid 10 °C .



Figur 17. Utslaget hos indikator HU (85 % RF) i olika fuktnivåer vid 20 °C .



Figur 18. Utslaget hos indikator HU (85 % RF) i olika fuktnivåer vid 30 °C .

Även för denna indikator behöver utslagsnivån överskrids med ett antal %-enheter RF innan utslaget blir distinkt.

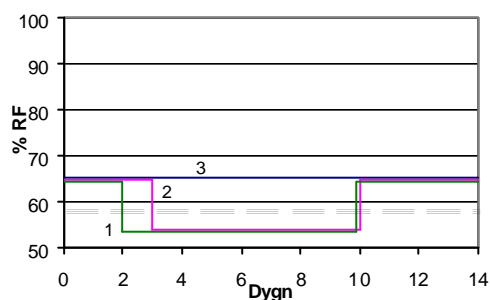
Av figur 16 – 18 framgår det generella beteendet att indikator slår ut fortare ju fuktigare miljö den vistats i. Notera att det inte finns några ”omkastade grafer” för denna indikator heller. Även temperaturberoendet, hastigheten i utslaget hos indikatorn ökar för samma RF om man höjer temperaturen.

4.2 Ackumulativt utslag

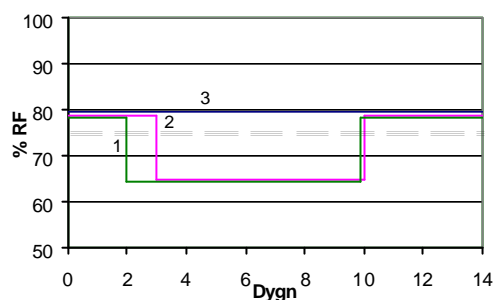
I detta försök studerades färgutslaget förmåga att ackumuleras då klimatet varierade kring indikatorns utslagsnivå. Frågeställningen var om färgutslaget avstannar när fuktnivån sjunker under indikatorns utslagsnivå och om färgutslaget sedan fortsätter på samma sätt när fuktnivån återigen ökar över indikatorns utslagsnivå.

Till försöket användes klimatboxarna som beskrivs i kapitel 3.1. Fuktnivåerna generades med saltlösningarna som beskrivs i kapitel 3.6. Fuktnivåerna kontrollerades med RF-mätningar enligt kapitel 3.4. Utslaget hos indikatorerna med tiden avlästes enligt metoden som beskrivs i kapitel 3.5. Resultatet från undersökningen beskrivs i detta kapitel.

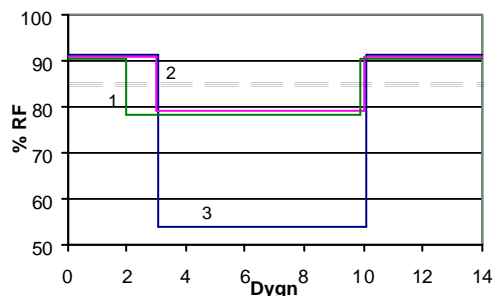
Nio indikatorer av respektive typ placerades först i konditionerade klimatboxar med en fuktnivå strax över respektive indikatorns utslagsnivå. Efter två dygn flyttades tre indikatorer av respektive typ till en klimatbox med en fuktnivå under respektive indikatorns utslagsnivå, se graf 1 i figur 19 – 24. Efter ytterligare ett dygn flyttades ytterligare tre indikatorer av respektive typ till de torrare klimatboxarna, graf 2. Dessutom flyttades de sista tre indikatorerna av typen HU (85 % RF) till klimatboxen med fuktnivå lika med 58 % RF. Temperaturen var konstant 20°C.



Figur 19. Klimatcykel 65/54 % RF för tre indikatorer CO.

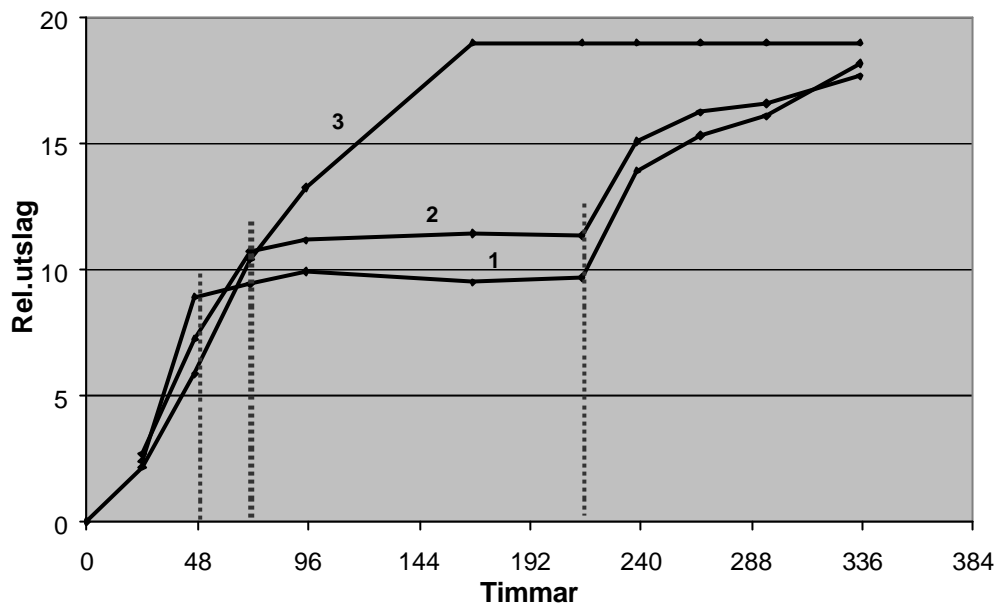


Figur 20. Klimatcykel 79/65 % RF för tre indikatorer BI.

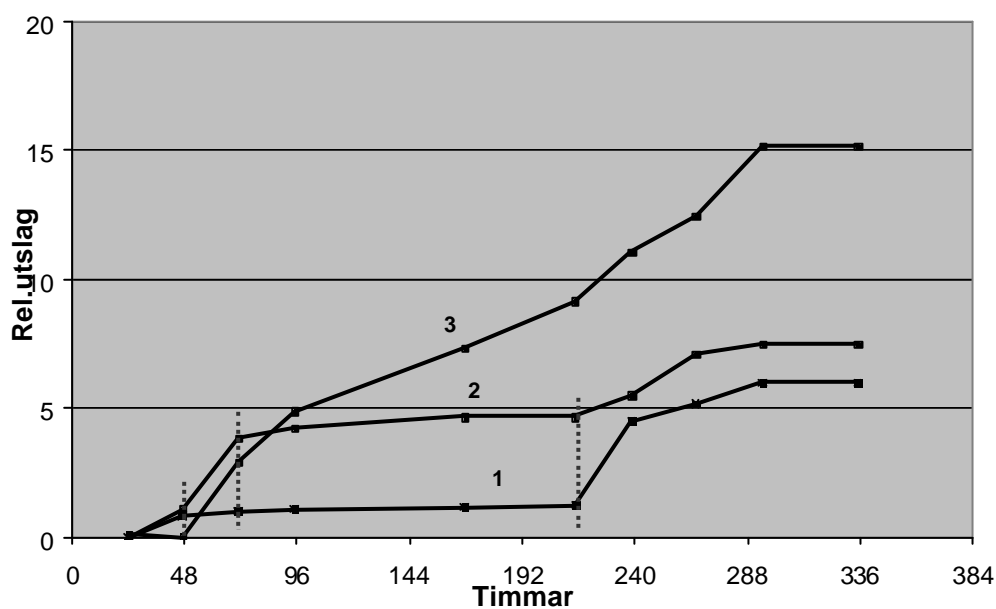


Figur 21. Klimatcykel 91/79/54 % RF för tre indikatorer HU.

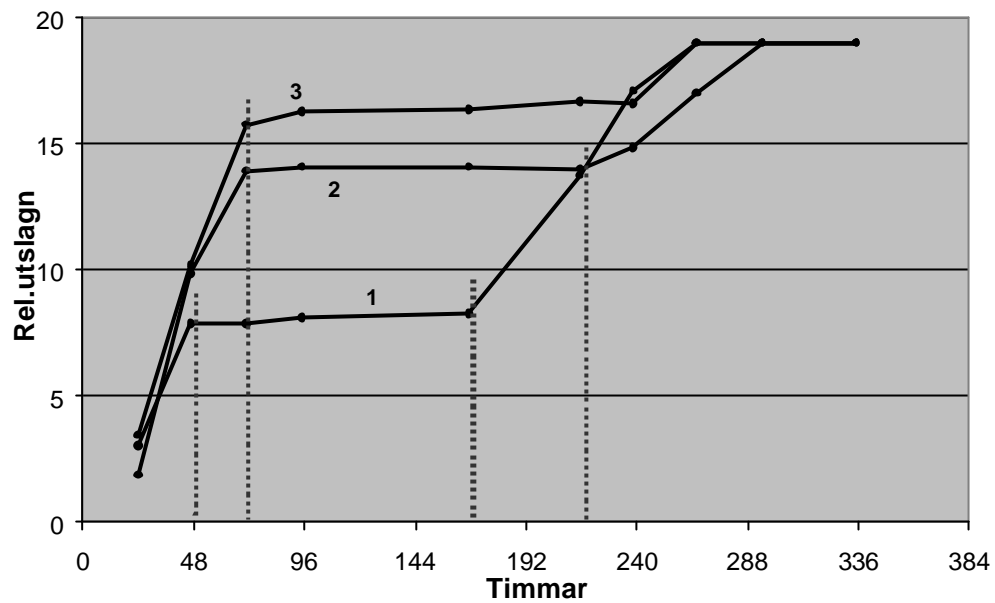
I figur 24 – 26 redovisas utslaget hos respektive indikator. Varje punkt i diagrammen är ett medelvärde av tolv enskilda utslag.



Figur 22 Utslaget hos indikator CO (utslagsnivå 58 % RF) i alternerade fuktnivåer enligt figur 19.



Figur 23 Utslaget hos indikator BI (utslagsnivå 75 % RF) i alternerade fuktnivåer enligt figur 20.



Figur 24 Utslaget hos indikator HU (utslagsnivå 85 % RF) i alternerade fuktnivåer enligt figur 21.

Det framgår av figuren att utslaget hos indikatorerna verkar avstanna helt direkt efter att RF-nivån i omgivningen sänkts under utslagsnivån. Då indikatorerna återigen utsätts för en högre RF-nivå börjar utslaget återigen att vandra med samma hastighet som tidigare.

Det finns dock små variationer hos grafen, i figur 22 – 24 under perioden då RF-nivån för respektive givare ligger under utslagsnivån. Dessa kan bero på de osäkerheter som finns i avläsningsmetoden.

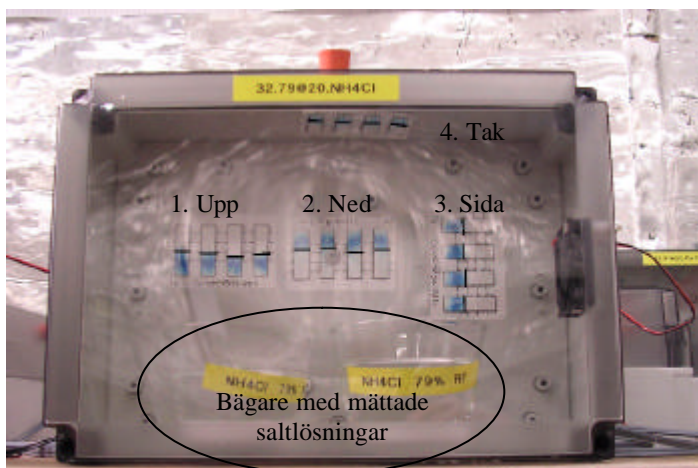
4.3 Utslagets positionsberoende

I detta försök studerades färgutslagets positionsberoende. Det vill säga om gravitation eller något annat kunde inverka på hastigheten hos indikatorernas utslag. Tre typer av indikatorer undersöktes i var sin fuktnivå vid en temperatur.

Till försöket användes klimatboxarna som beskrivs i kapitel 3.1. Fuktnivåerna generades med saltlösningarna som beskrivs i kapitel 3.6. Utslaget hos indikatorerna med tiden avlästes enligt metoden som beskrivs i kapitel 3.5. Resultatet från undersökningen beskrivs i detta kapitel.

Fuktnivån i respektive klimatbox valdes så att givaren fick ett distinkt utslag på kort tid, men ändå inte var högre än nödvändigt. Endast en typ av indikator placerades i varje klimatbox. Fuktnivån i klimatboxen för Indikatorn Probiks CO valdes till 65 % RF, för Probiks BI valdes 79 % RF samt för Probiks HU valdes 91 % RF. Temperaturen i samtliga klimatboxar var konstant 20°C.

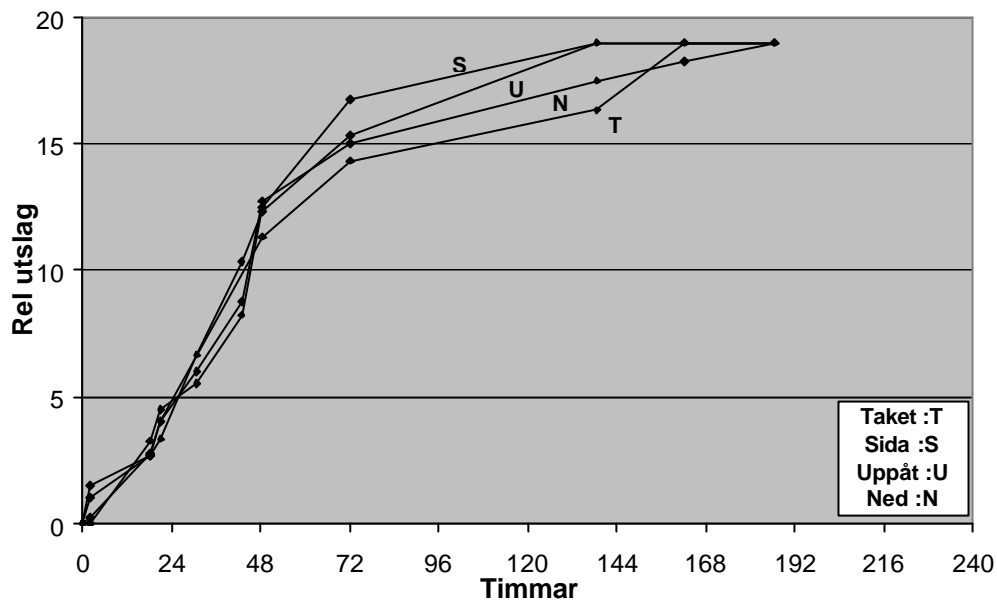
Efter etablering av klimatboxarna fick de stå orörda något dygn för att komma i jämvikt. Därefter placerades sammanlagt fyra stycken likadana indikatorer men i olika positioner i respektive klimatbox, se figur 25.



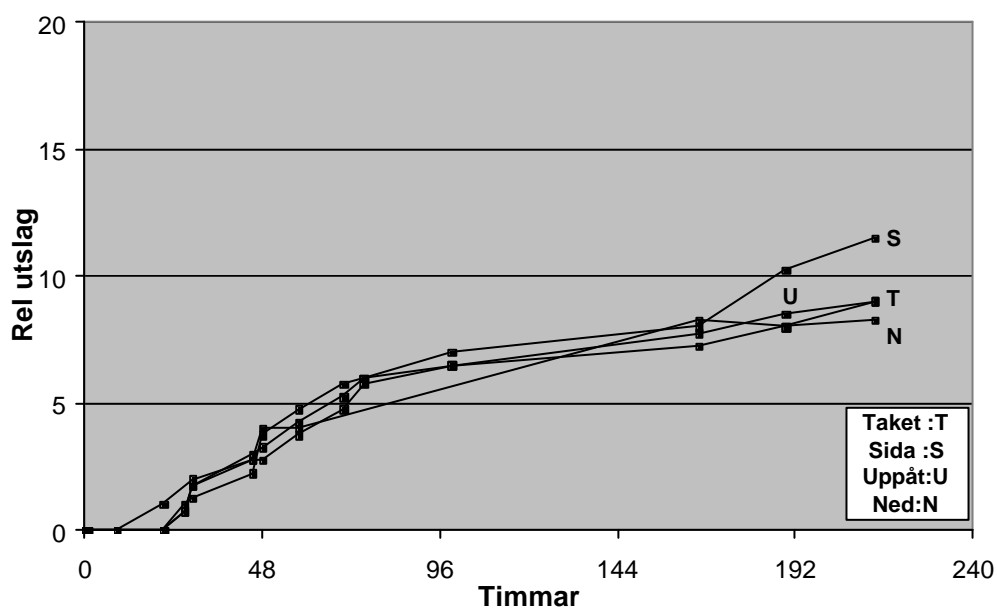
Figur 25. Provuppställning för studier av färgutslagets rikttningsberoende. Bilden tagen efter ungefär 2 dygn.

I respektive klimatbox placerades indikator nummer 1 så att färgutslagets spridning sker uppåt och eventuellt motarbetas av gravitationen. Indikator nummer 2 placerades så att färgutslagets spridning sker nedåt och eventuellt får hjälp av gravitationen. Indikator 3 placerades på sidan vilken är den normala placeringen på en vägg. Indikator 4 placerades i taket vilket också är att betrakta som en normal placering.

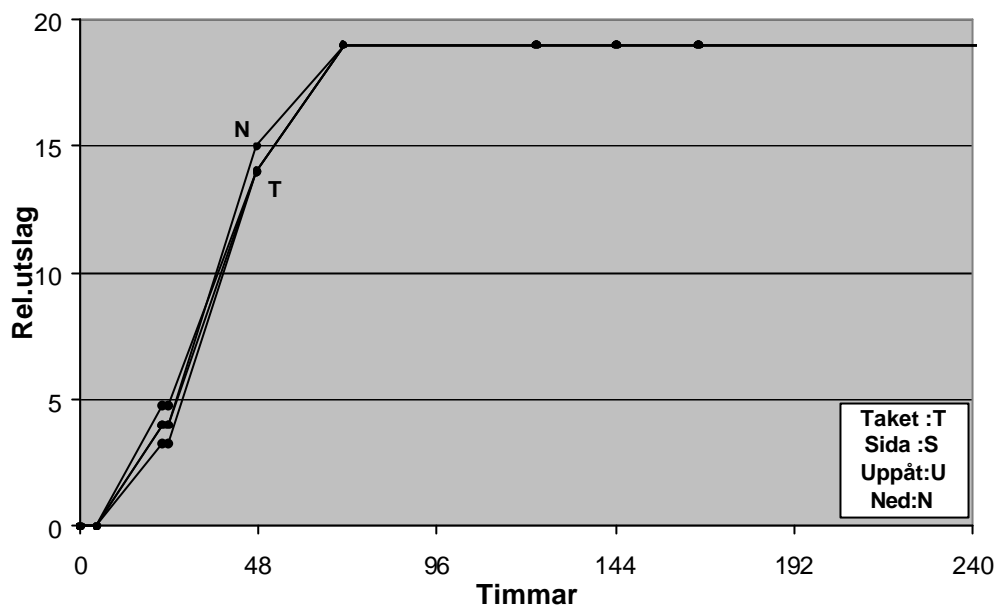
I figur 26 – 38 redovisas utslaget hos respektive indikator. Varje punkt i diagrammen är ett medelvärde av fyra enskilda utslag.



Figur 26. Utslaget hos indikator CO (utslagsnivå 58 % RF) i 65 % RF, indikatorn placerad i olika positioner enligt figur 25.



Figur 27. Utslaget hos indikator BI (utslagsnivå 75 % RF) i 80 % RF, indikatorn placerad i olika positioner enligt figur 25.



Figur 28. Utslaget hos indikator HU (utslagsnivå 85 % RF) i 90 % RF, indikatorn placerad i olika positioner enligt figur 25.

Värt att notera är att samtliga utslag på alla indikatorer är i det närmsta identiska i varje försök. Speciellt med tanke på att det finns en icke försumbar osäkerhet i avläsningsmetoden.

Endast för indikator CO man observera en liten skillnad mellan indikatorerna CO placerade i olika positioner. Skillnaden uppträder under en kortare tidsperiod och försvinner efter något dygn. Möjligen kan man även avläsa ett svagt förhöjt utslag hos indikator "S" i slutet av mätperioden i figur 27.

Det går alltså inte att med stöd av denna begränsade undersökning påstå att det finns ett systematiskt samband mellan indikatorernas position och deras utslag. Det ligger snarare till tvärt om, att detta samband saknas.

5 Jämviktsfuktkurvor

En jämviktsfuktkurva beskriver hur mycket fukt ett material innehåller i jämvikt med omgivningen, vid en speciell temperatur. Enkelt uttryckt strävar alltid fukttätheten i ett material att komma i jämvikt med fukten i dess omedelbara omgivning. Det är vanligt att den jämviktsnivån som inställer i materialet, vid olika RF i omgivningen, beskrivs med en jämviktsfuktkurva. Andra namn på jämviktsfuktkurva kan vara sorptionskurva, sorptionsisoterm, eller fuktisoterm.

För att utvärdera jämviktsfuktkurvan för de olika indikatorerna har två olika metoder använts parallellt i denna undersökning. Den första metoden bygger på mätningar av hela indikatorer i de klimatburkar som beskrivs i kapitel 3.2. i den andra metoden utförs mätningar av en liten del av indikatorns remsa med hjälp av den sorptionsvåg som beskrivs i kapitel 3.3.

5.1 Burkmetoden

Vid bestämning av jämviktsfuktkurvan med hjälp av klimatburkar fästes en komplett indikator på undersidan av upphängningsanordningen inne i en klimatburk. Klimatburkens botten täcktes med en mättad saltlösning som genererar ett visst RF i burken. Mättade saltlösningar beskrivs i kapitel 3.6.

Genom vägning av indikatorns viktförändring går det att avgöra när fukten i indikatorn kommit i jämvikt med fuktnivån i klimatburken. Indikatorn vägs med hjälp av upphängningsanordningen utan att locket på burken behöver öppnas, se kapitel 3.2. När indikatorns vikt varit stabil, i den rådande fuktnivån, något dygn ansågs det råda jämvikt i hela systemet. Indikatorn tillsammans med upphängningsanordningen samt burkens lock flyttades då till en klimatburk med fuktnivå motsvarande nästa RF i mätsekvensen.

Indikatorn Probiks CO flyttades mellan klimatburkarna i en sekvens av LiCl (11%RF), KCH₃ (23%RF), MgCl₂ (33%RF), K₂CO₃ (43%RF) NaBr (59%RF), K₂CO₃, MgCl₂, KCH₃ LiCl samt avslutningsvis Mol sieves 0,4 nm för att torka ned proverna till nära 0 % RF. Resultaten redovisas i kapitel 5.3.

Indikatorn Probiks BI flyttades mellan klimatburkarna i en sekvens av LiCl (11%RF), KCH₃ (23%RF), MgCl₂ (33%RF), K₂CO₃ (43%RF) NaBr (59%RF), NH₄NO₃ (63%RF), NaCl (75%RF), NH₄NO₃, NaBr, K₂CO₃, MgCl₂, KCH₃ LiCl samt avslutningsvis Mol sieves 0,4 nm för att torka ned proverna till nära 0 % RF. Resultaten redovisas i kapitel 5.4.

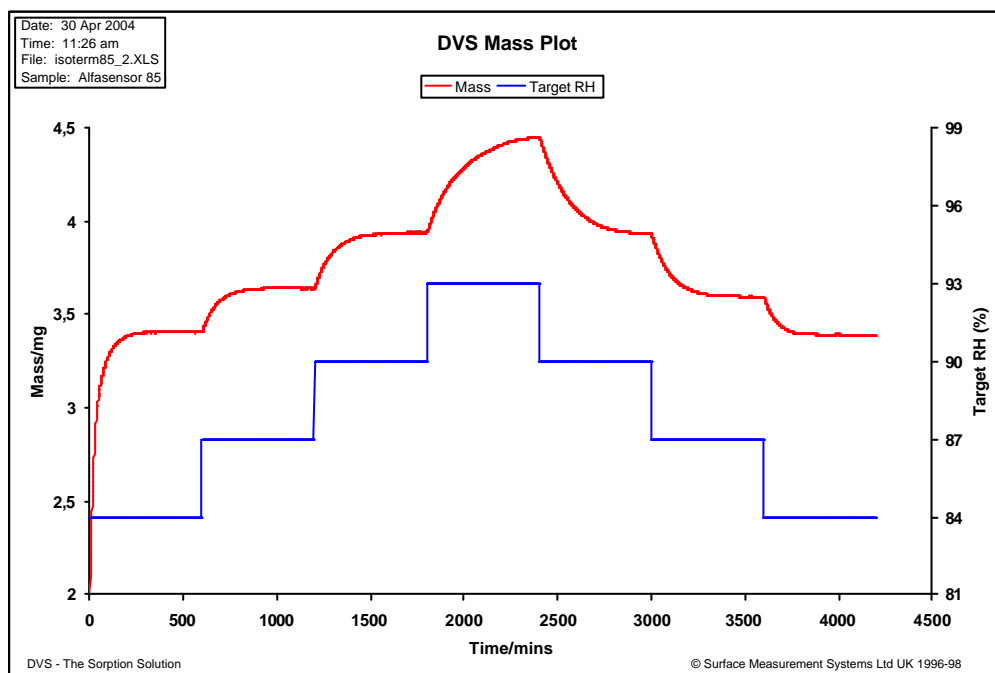
Indikatorn Probiks HU flyttades mellan klimatburkarna i en sekvens av LiCl (11%RF), KCH₃ (23%RF), MgCl₂ (33%RF), K₂CO₃ (43%RF) NaBr (59%RF), NH₄NO₃ (63%RF), NaCl (75%RF), KCl (85%RF), NaCl, NH₄NO₃, NaBr, K₂CO₃, MgCl₂, KCH₃ LiCl samt avslutningsvis Mol sieves 0,4 nm för att torka ned proverna till nära 0 % RF. Resultaten redovisas i kapitel 5.5.

5.2 Sorptionsvåg

Vid bestämning av jämviktsfuktkurvan med hjälp av sorptionsvåg användes en liten del av remsan från en indikator. Provbitarnas storlek var ungefär 1×2×3 mm (cirka 2mg) i denna undersökning. En till två bitar från varje typ av indikator har undersökts. Två till fyra undersökningar har gjorts för varje typ av indikator. Resultaten redovisas i kapitel 5.3 – 5.5.

Samtliga undersökningarna i sorptionsvågen skedde vid en konstant temperatur av 20°C. Under en första mätserie studerades jämviktsfuktkurvan upp till respektive indicators utslagsnivå. En typisk mätsekvens var 0–10–25–40–55 för Probiks CO med utslagsnivå 58 % RF. För Probiks BI med utslagsnivå 75 % RF ingick även 65 & 75 % RF i sekvensen. För Probiks HU med utslagsnivå 85 % RF ingick dessutom 85 % RF. Resultaten redovisas i figur 30, 32 & 34.

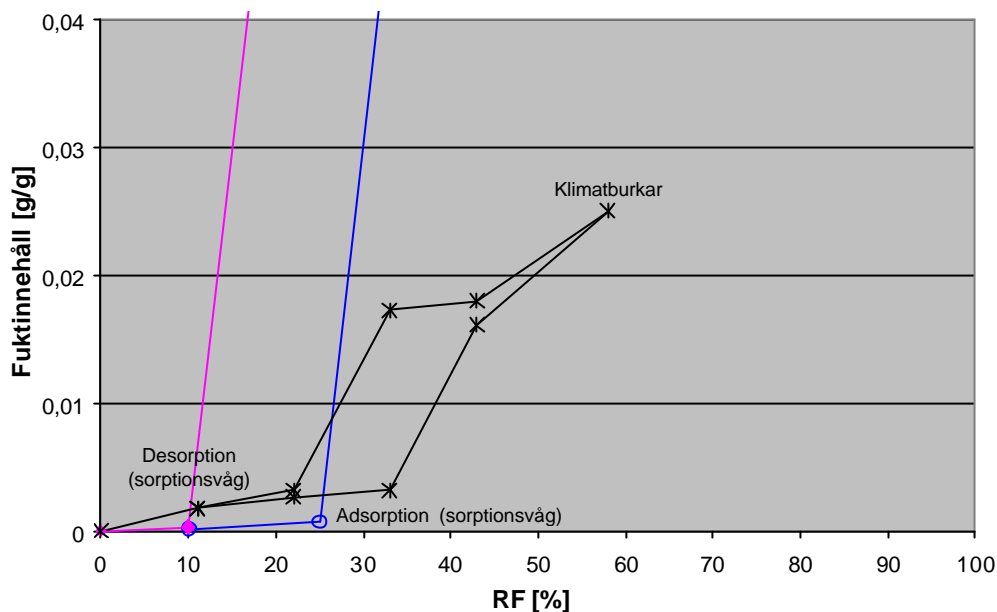
Därefter upprepades mätningarna på samtliga indikatorer för att nu studera jämviktsfuktkurvan omkring respektive indicators utslagspunkt. I figur 29 visas en typisk mätsekvens (84–87–90–93 % RF) för en Probiks HU med utslagsnivå 85 % RF. I figuren 29 är den skarpa trappan RF i luften som omger provet. Trappan med de rundade stegen visar hur vikten hos provet ändras med tiden då RF i omgivningen ändras stegvis. Samtliga resultat redovisas i figur 31, 33 & 35.



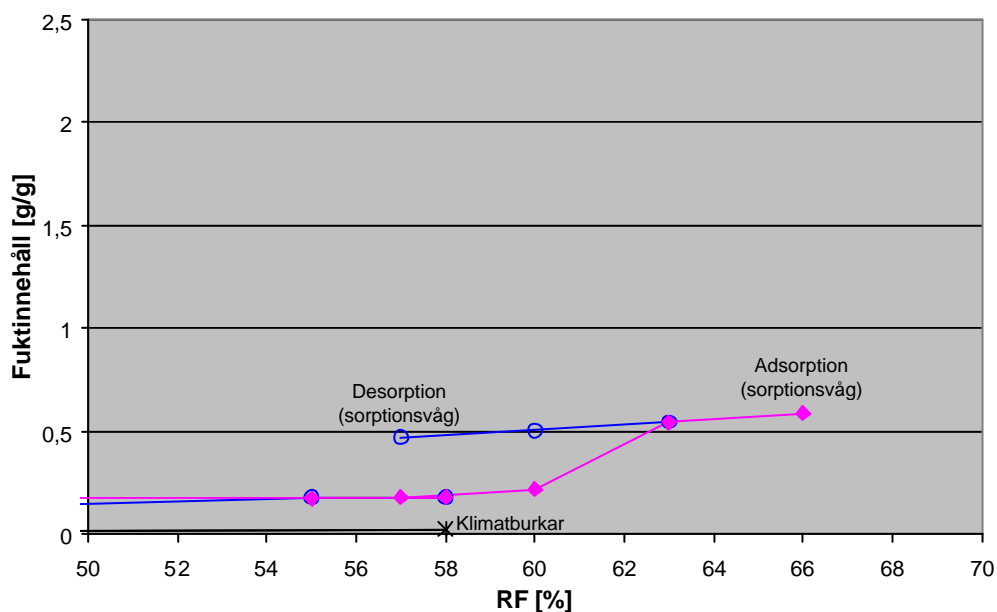
Figur 29 Resultatet från sorptionsvågen.

5.3 Probiks CO

Nedanstående resultat är osäkra då indikatorn uppvisade nyckfullt beteende. Ytterligare mätningar har inte varit möjliga att utföra i detta begränsade projekt. I figur 30 redovisas uppmätt jämviktsfuktkurva för indikatorn av typen CO under dess utslagsnivå på 58 % RF. Samt i figur 31 redovisas dess jämviktsfuktkurva över utslagsnivån. Observera figureernas olika skalor!



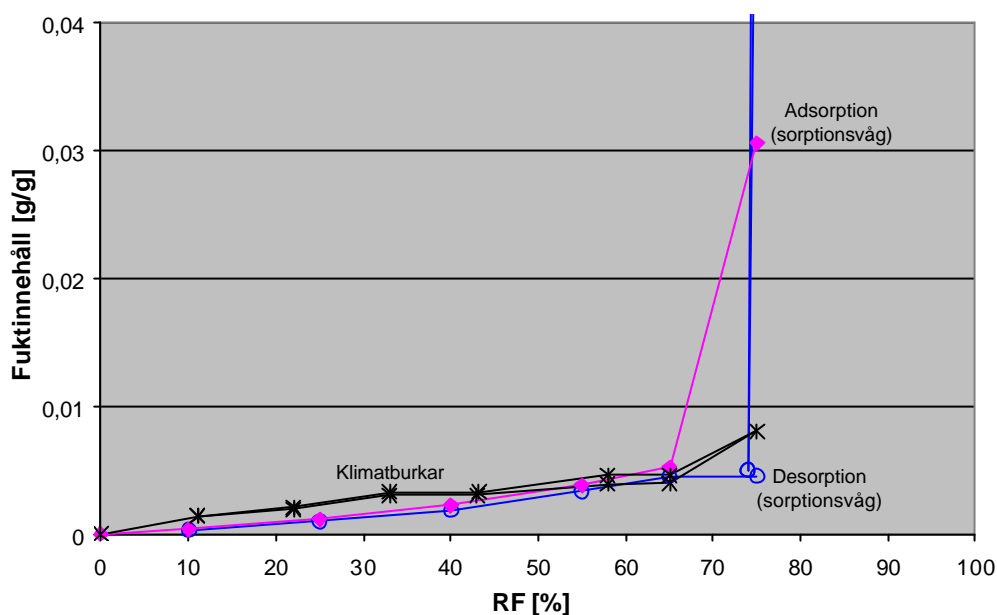
Figur 30 Jämviktsfuktkurva för Probiks CO under utslagsnivån 58 % RF.



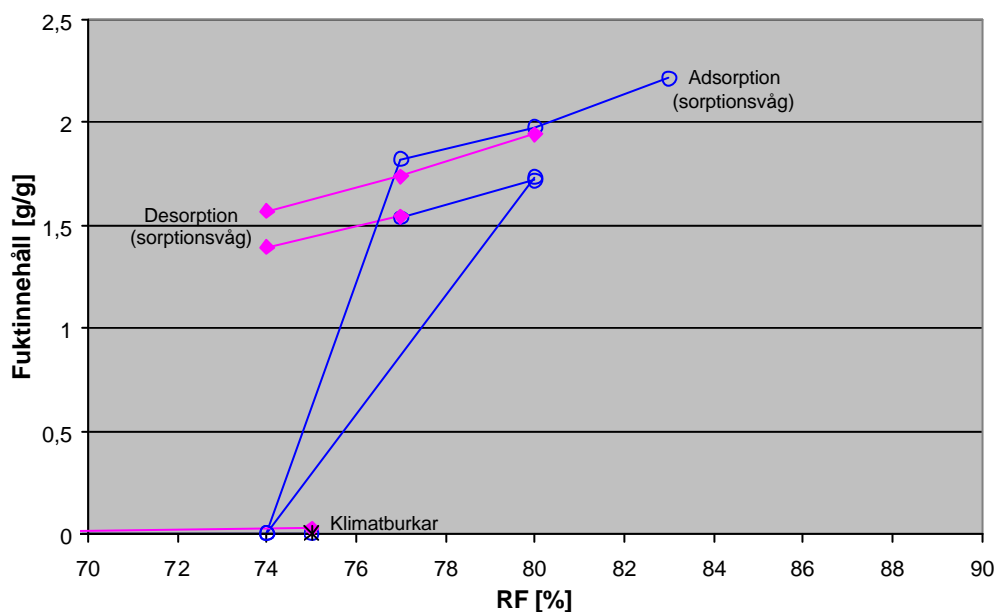
Figur 31 Jämviktsfuktkurva för Probiks CO över utslagsnivån 58 % RF.

5.4 Probiks BI

Resultaten ser rimliga och riktiga ut med en kraftig ökning av fuktupptagningen vid utslagsnivån. Därefter sker en betydligt mindre fortsatt linjär viktökning. I figur 32 redovisas uppmätt jämviktsfuktkurva för indikatorn av typen BI under dess utslagsnivå på 75 % RF. Samt i figur 33 redovisas dess jämviktsfuktkurva över utslagsnivån. Observera figureernas olika skalor!



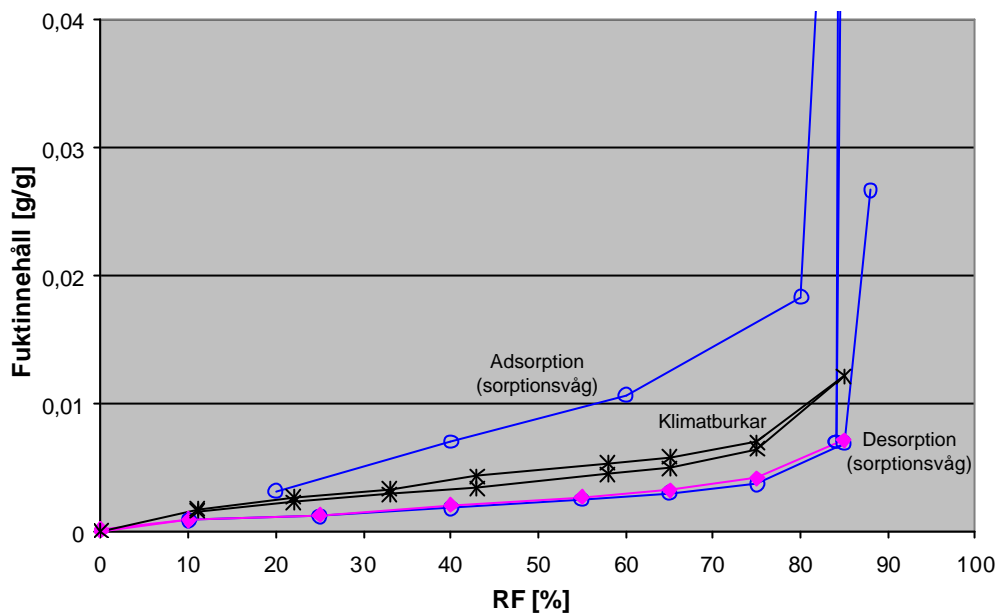
Figur 32 Jämviktsfuktkurva för Probiks BI under utslagsnivån 75 % RF.



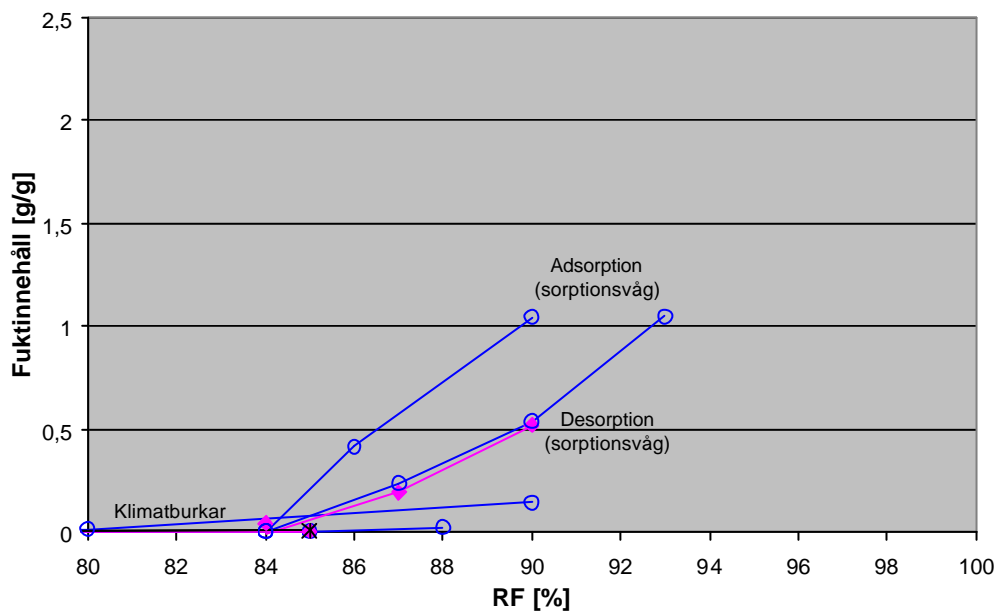
Figur 33 Jämviktsfuktkurva för Probiks BI över utslagsnivån 75 % RF.

5.5 Probiks HU

Resultaten under utslagsnivån (85 % RF) ser rimliga och riktiga ut, figur 34. Över utslagsnivån finns en stor spridning mellan de olika mätningarna som kan bero på att inte jämvikt hunnit inställa sig på grund av för kort hålltid i respektive klimat, se figur 35. Observera figurernas olika skalor!



Figur 34 Jämviktsfuktkurva för Probiks HU under utslagsnivån 85 % RF.



Figur 35 Jämviktsfuktkurva för Probiks HU över utslagsnivån 85 % RF.

6 Platsbygge

Det här kapitlet innehåller en ny undersökning om indikatorernas roll i ett platsbygge. Fältundersökningen som gjorts i detta projekt syftar till att undersöka hur indikatorerna kan användas för att öka fuktsäkerhet i byggskedet. Fältobjektet som användes i projektet var byggarbetsplatsen för en ny hörsalsbyggnad med bibliotek på Campusområdet i Skellefteå, figur 36.



Figur 36 Färdigställd Huvudentré samt ”romerska arenan” under byggnation. Hörsal och biblioteksbyggnad på Campusområdet vid Skellefteälven.

Fastighets AB Polaris hade högt ställda krav på fuktsäkerheten i det här byggobjektet. För att försäkra sig om en så bra fuktsäkerhet som möjligt lät man till att börja med göra en fuktdimensionering av hela byggnaden. Man beaktade såväl de speciella fuktproblemen som bara uppstår i byggskedet som de beständighetsrelaterade fuktproblemen som uppstår senare i fortvarighets-tillståndet.

Speciellt noggrant kontrollerades skyddet mot markfukt i fortvarighets-tillståndet eftersom byggnaden är belägen vid Skellefteälven. Detta visade sig inte var någon lätt uppgift att beräkna uttorkningstider och bedöma det långvariga fuktskyddet eftersom byggnaden har en alldeles speciell geometri med exempelvis en nedsänkt arena av gammalt romerskt snitt. Som kapillär-brytande skikt under byggnaden ville dessutom konstruktören använda den lokala produkten Bolidenjärnsand från Rönnskärsverken. Innan fuktkonsulten kunde godkänna detta för honom nya material fick järnsanden underkasta sig en noggrann undersökning. Bland annat fastställdes den kapillära stighöjden och sandens totala porositet.

För att kontrollera fuktpåverkan under byggskedet använde sig kvalitets-ansvarige av både traditionella fuktmätare och Probiks indikatorer. Indikatorerna användes främst i syfte att övervaka fukttillståndet under byggskedet på en mängd olika platser på bygget. De traditionella fuktmätningarna, enligt system RBK, utfördes på ett fåtal kritiska konstruktioner i syfte att kontrollera byggnadsmaterialens fuktnivå mot

uppsatta gränsvärden. Till exempel gjordes exakta fuktmätningar i undergolv av betong innan fuktkänsliga golvbeläggningar monterades.

För att ytterligare öka engagemanget om fuktfrågor bland entreprenörerna på byggarbetsplatsen sammankallade byggherren till ett fuktmöte tidigt i byggskedet. Till mötet bjöd man dessutom in Professor Lars-Olof Nilsson från FuktCentrum, avdelning Byggnadsmaterial vid Lunds tekniska högskola. Professor Nilsson, som är en av de stora pionjörerna inom fuktområdet, förklarade grundligt, under nästan två timmar, hur fuktmeکانik fungerar i praktiken och hur man kan påverka byggnadens fukttillstånd i positiv riktning på byggarbetsplatsen. Bland annat diskuterade man hur viktigt det är att hela voten blir ordentligt värmeisolerad utan några glipor för att få ett fuktskydd.

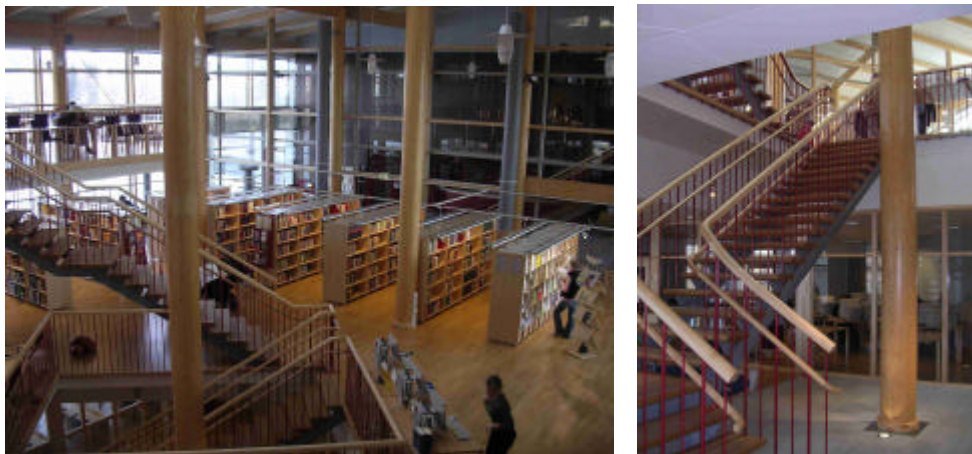
Efter föredraget uppstod det en positiv diskussion om hur man skulle kunna öka fuktsäkerheten på arbetsplatsen. Ur denna diskussion föddes flera idéer om vilken fukt som behöver övervakas och var på bygget man kan placera indikatorerna. Detta användes senare i projektet för att öka fuktsäkerheten på byggarbetsplatsen.

Några fakta om fältobjektet

Objekt;	Hörsal med bibliotek
Storlek;	3000 kvm inkl hörsal med cirka 200 platser
Byggplats;	Campusområdet i Skellefteå
Alfasensor AB;	15 mätpunkter med Probiks, cirka
RBK-mätningar;	7 mätpunkter, cirka
Projekteringsstart;	1999
Byggstart;	augusti 2001
Överlämning;	juni 2003
Byggets budget;	52 milj. sek, cirka
Fuktdimensionering;	200.000 sek inkl fuktmätning, cirka
Byggherre;	Fastighets AB Polaris
Projektledare;	Fastighets AB Polaris, Per-Martin Andersson
Arkitekt;	Tema Arkitekter, Lennart Nilsson
Konstruktör;	Consultec Arkitekter och Konstruktörer
Fuktdimensionering;	Fuktdimensionering AB, Malmö
Byggledning;	VAB Arkitekter, Henrik Åkerlund
Kvalitetsansvarig;	Göran Johansson, Bygg-Koordination i Skellefteå AB
Generalentreprenör;	PEAB Sverige AB, platschef Kurt Jämtemo

6.1 Conwoodstolpar

Den bärande konstruktionen hos våningarna som ligger ovan markplan består av limträbalkar som vilar på ihåliga limträpelare, så kallade Conwoodstolpar. I byggnaden finns 28 stycken av dessa stolpar som i några fall sträcker sig genom tre våningar och är upp till 12 meter höga, figur 37.



Figur 37 Conwoodstolpar och limträbalkar utgör den bärande stommen hos den nya Hörsal och biblioteksbyggnaden i Skellefteå.

I och med att Conwoodstolparna är ihåliga och monteras under bar himmel kan det finnas en risk att de blir våta inuti om det regnar vid ett olämpligt tillfälle. Detta har undvikits genom att stolparnas öppna toppar täcks med en hätta tillverkad av pressning som skyddar dem mot regn.

Indikatorer BI och HU placerades på insidan av Conwoodstolpen i samband med att ett litet titthål borrades på motsatta sidan genom trästolpens vägg. Indikatorns utslag avlästes genom hålet med hjälp av fiberoptik, figur 38.



Figur 38 Fiberskop respektive Boroskop, två snarlika utrustningar som kan användas för avläsning av utslaget hos inbyggda indikatorer.

En fuktteknisk risk som observerades först under byggskedet inträffade i samband med undergjutning av stolparna. Conwoodstolpen hade skyddats med en plaststrumpa i underkant, men byggfukten från den färska betongen trängde ändå in i hålrummet i stolpen och påverkade indikatorn där. Se figur 39. Dock visade indikatorn endast på ett begränsat utslag så risken för kvarstående problem på grund av denna fuktkälla bedömdes som försumbar.



Figur 39 Avläsning av indikator inne i Conwoodstolpe genom inspektionshål.

6.2 Lättbalkar av trä

Det finns tre skiljda perioder under början av en byggnads livslängd då principiellt olika fuktkällor uppträder och riskerar att ställa till problem. Dessa perioder återkommer i princip likadant för alla byggnadsdelar. Dock kan fuktkällorna för olika byggnadsdelar skilja sig åt under samma period.

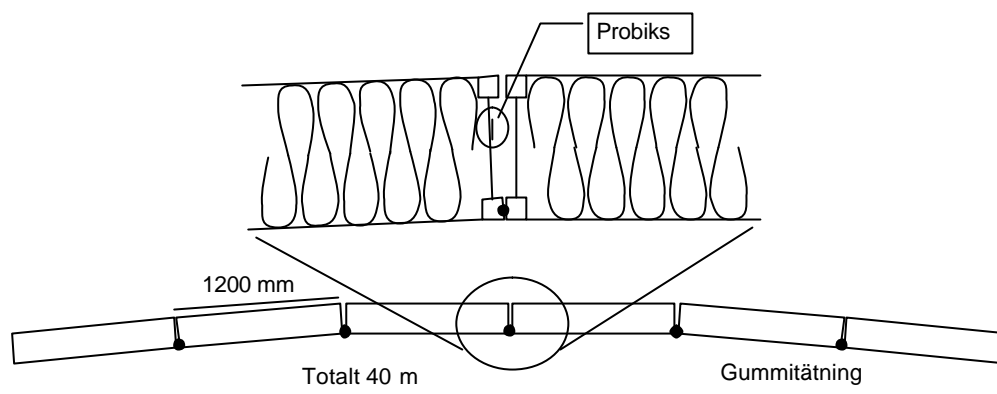
Första perioden för lättbalkar av trä innefattar tidig byggfukt och andra fuktkällor som uppkommit redan innan träbalken monterats på plats. Ett exempel är att balken redan från början är byggd av ett för fuktigt material. Detta kan också finnas fukt som tillkommit under transport eller lagring, speciellt om balkarna inte varit ordentligt skyddade. Detta kan kontrolleras och undvikas med en enkel mottagningskontroll. Även om konstruktionen kan torka med tiden är kanske en mikrobisk tillväxt redan initierad. Det finns alltså en förhöjd risk för att trä som en gång varit fuktigt drabbas av nya fuktrelaterade problem i framtiden.

Nästa kritiska period då fukt kan tillföras konstruktionen är byggskedet. Ibland tillåts balkarna stå exponerad under lång tid mot en fuktig omgivning och även fritt regn innan klimatskalet kommit på plats.

Den tredje perioden är byggnadens fortvarighetstillstånd och innefattar fukt som tillkommer efter det att byggnaden tagits i bruk. Sitter balkarna i taket kan kondens samt takläckage vara möjliga fuktkällor under den här perioden.

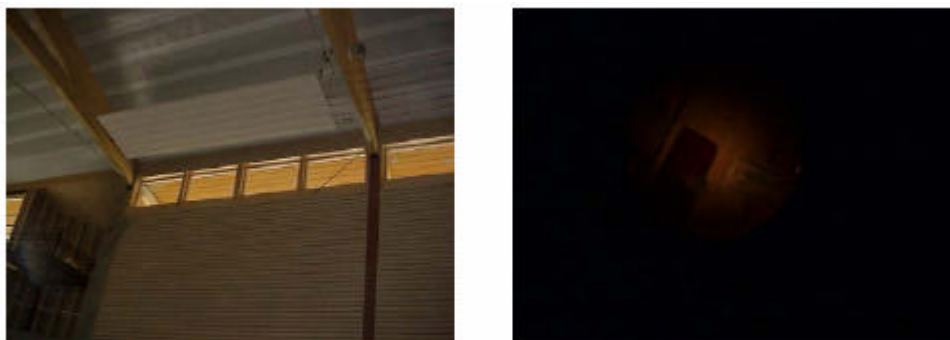
Indikatorerna kan med fördel monteras på lätträbalkarna redan på tillverkningsplatsen. Helst innan transportförpackningen sätts på. På det sättet kan

även en enkel mottagningskontroll görs av balkarna när de anländer bygg-
arbetsplatsen. Om balkarna i ett senare skede utsätts för fritt regn eller annan
hög fuktbelastning, under lagring eller efter att de monterats på plats, syns
även detta på indikatorernas utslag. Se figur 40.

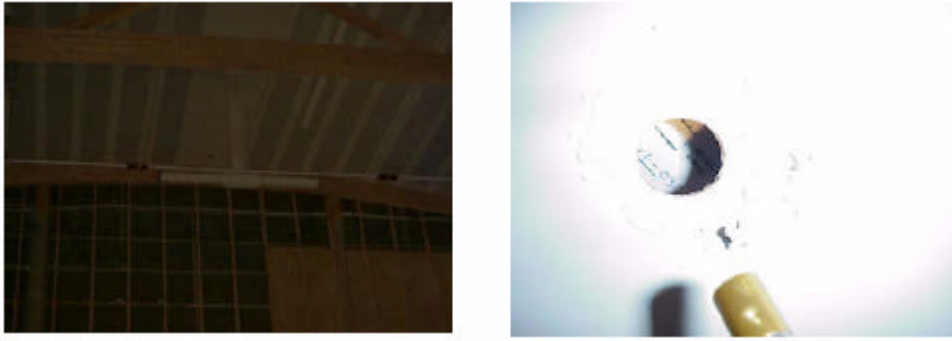


Figur 40 Placering av indikatorer på takkonstruktionens lätträbalkar görs med fördel redan på fabriken innan transportskyddet monteras.

Under fältundersökningen placerades indikatorer på lätträbalkar till bygget av en angränsande sporthall. Indikatorerna monterades inuti takelement och bärande balkar redan innan de lämnat fabriken. Utslagen på indikatorerna kontrollerades vid ankomst till byggarbetsplatsen samt efter att byggnaden färdigställts. Se figur 41 & 42.



Figur 41 Placering av indikatorer i takbalkar av typen Masonite lättelelement. Avläsning av indikatorns utslag med fiberoptik.



Figur 42 Placering av indikatorer i undre delen av takelement av typen Masonite lättelement. Avläsning av utslag genom inspektionshål.

6.3 Prefabricerade betongbjälklag

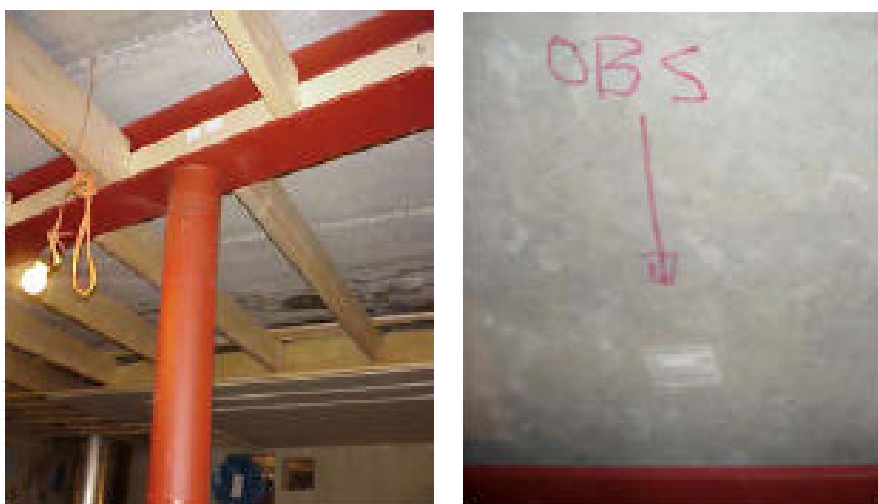
Även med prefabricerade bjälklagselement av betong återfinns de tre perioderna då principiellt olika fuktkällor uppträder. Perioderna är i stort sett de samma men fuktkällorna skiljer sig från de tidigare beskrivna träkonstruktionerna.

Den första perioden innefattar byggfukt i betongen samt andra fuktkällor som uppkommit redan innan elementet monterats på plats. Detta kan vara fukt som tillkommit under transport eller lagring, speciellt om inte elementen varit ordentligt skyddade. Detta kan kontrolleras och undvikas med en mottagningskontroll

Den andra perioden innefattar fuktkällor som uppkommer under själva byggprocessen. Det kan exempelvis vara fukt från en pågjutning eller genom insugning av nederbörd att det tillåtit regna på ett oskyddat bjälklag.

Tredje perioden är fortvarighetstillståndet efter att byggnaden tagits i bruk. En olyckligt konstruerad anslutning mot ytterväggen eller en läckande invändig takavvattning kan vara tänkbara orsaker till fuktskada under den här perioden. Den mest uppenbara riskkonstruktionen i fortvarighetstillståndet är dock uppreglade golv med inbyggda vatteninstallationer, som behandlas separat i kapitel 6.6.

Fuktnivån i prefabricerade bjälklagselement kan studeras genom att placera indikatorer direkt på ytan, under en plastfilm. För att undersöka om fukten i bjälklaget kommer från en fuktig omgivning eller inte kan motsvarande indikatorer fästas på en angränsande yta. Dock utan plastfilm. Se figur 43.



Figur 43 Indikatorer monterade på undersidan av ett prefabricerat bjälklags-element samt på en angränsande yta (träregel ovan stolpe).

Indikatorerna kan ibland monteras redan i fabriken och utgöra en del i en mottagningskontroll. Dessutom kan de med fördel sitta kvar på bjälklags-elementet under hela byggskedet och utgöra en vakt långt efter att byggnaden färdigställts, figur 44.



Figur 44 Avläsning av indikatorer i samband med besiktning efter att byggnaden brukats en tid.

Det kan vara viktigt att noggrant märka ut indikatorernas placering i ett tidigt skede för att minska onödigt arbete. Det kan vara tidskrävande att exempelvis lyfta en mängd undertaksplattor för att hitta indikatorerna ifall uppgifterna om deras placering är otydlig.

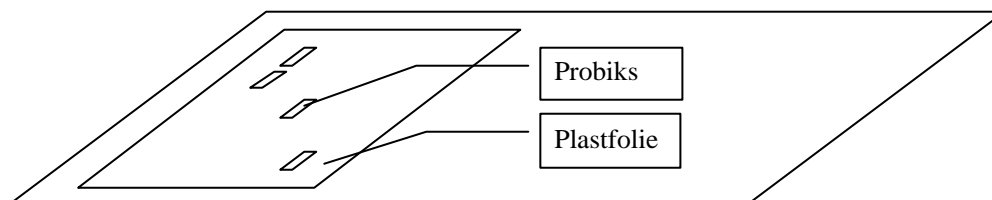
6.4 Betonggolv

Vid platsgjutna betonggolv är oftast den dominerande fuktkällan byggfukten i betongen. En stor del av blandningsvattnet som används vid tillverkning av betongen måste först torkas bort innan täta övergolvs kan monteras.

Fuktkällor senare under byggprocessen kan exempelvis utgöras av regnvatten, speciellt om betongbjälklaget inte skyddas mot nederbörd. Ofta kan även andra oförutsedda källor, som exempelvis en läckande vattenslang, tillföra betongen stora mängder fukt som senare riskerar ge upphov till en ”oförklarlig” lokal fuktskada. Tätt hus och fullgott torkklimat är ofta självklara förutsättningar för att byggfukten skall hinna torka ut som planerat under byggtiden. I fortvarighetstillståndet är påskjutande markfukt samt oförutsedda läckage hos rörledningar exempel på källor som kan ställa till problem.

På stora betonggolv kan indikatorerna användas för att indikera lokala avvikelser i fuktillståndet. På det sättet kan man täcka in om det finns något lokalt område som är fuktigare på en stor yta. Indikatorerna sprids ut över ytan och täcks med en genomskinlig plastfolie som sluter tätt mot golvytan. På detta sätt stannar fukten från golvet kvar hos indikatorerna under plasten utan att ytan torkas ut.

Metoden med många indikatorer utspridda över en stor golvyta kan exempelvis användas som stöd för att hitta en lämplig plats att göra mer precisa fuktmätningar. Exempel på en exakt RF-mätning, som utfördes i projektet, är att mäta fukt i borrarade mäthål enligt system RBK. Se figur 45.



Figur 45 Principskiss för montage av flera indikatorer, under en plastfilm, på en stor golvyta. Lokala variationer över området kan detekteras.

Under fältundersökningen placerades indikatorer nära Conwoodstolpar för att bland annat undersöka effekten av stolparnas undergjutning. Tre typer av indikatorer, Probiks CO, BI och HU placerades tillsammans under en plastfolie som tejpades ned mot betongytan, se figur 46.



Figur 46 Placering av indikatorer på plastfolie som tejpas ned mot betongytan.

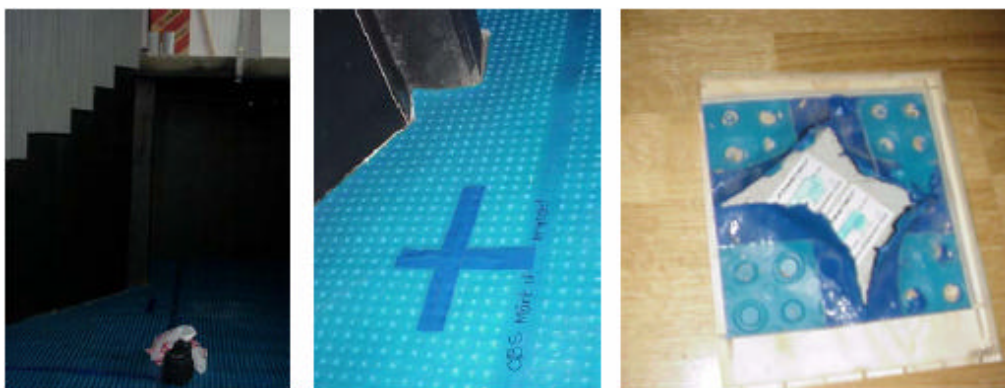
Inspektionsluckor i trägolv kan placeras på undanskymda ställen, i fältobjektet satt de bland annat på golvet i utrymmet under läktarna i ”Romerska arenan”. Fuktnivån i luftspalten under platonmattan stiger under mycket lång tid till den slutligen kommer i jämvikt med fuktfördelningen mitt inne i betongplattan.

6.5 Platonmatta

En platonmatta kan användas som ett mellanskikt för att skydda övergolvet mot den fukt som finns i undergolvet. Fukten hindras då effektivt från att vandra upp i övergolvet och skapa eventuella problem där. Under vissa förhållanden riskerar dock den kvarhållna fukten att skapa problem i undergolvet under platonmattan.

En skada som kan uppstå i och med hög fuktbelastning underifrån på denna konstruktion är att kvarglömt skräp och träspån under Platonmattan börjar mögla. Mögellukten kan sedan hitta en spridningsväg upp i rummet och orsaka oangenäm lukt i lokalen och i värsta fall även ospecifika hälsoproblem hos brukarna.

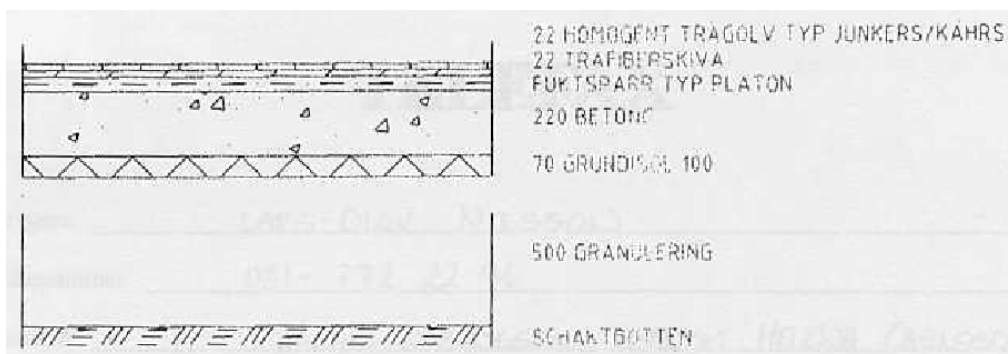
Indikatorerna kan monteras på undergolvet som beskrivs i kapitel 6.4 för att avläsas under byggskedet. Med lite extra förberedelser kan indikatorerna sitta kvar under platonmattan och senare avläsas även i bruksskedet. Man får då ett mått på hur fuktigt det har varit i luftspalten under platonmattan. Se figur 47.



Figur 47 Placering av indikatorer under platonmattan i arenan. Avläsning genom inspektionslucka sker även efter att golvet färdigställts.

Vid en fuktnätning under byggskedet i fältobjektet uppenbarade det sig att en del av betongplattan inte skulle hinna torka ut ordentligt. Det uppsatta gränsvärdet för fuktnivån i betongplattan innan golvläggning var 85 % RF.

Den färdiga övergolvkonstruktionen på de berörda områdena var ett tjockt homogent trägolv ovanpå en oventilerad platonmatta. Figur 48.



Figur 48 Golvkonstruktion med övergolv av homogent trä på ett mellanskikt bestående av oventilerad platonmatta.

För att minska risken med kvarvarande organiskt material i konstruktionen beslutade man att bränna hela golvytan med en gasolbrännare innan platonmattan monterades. Det bedömdes dock inte finnas någon betydande risk för ökade deformationer hos trägolvet på grund av ett förhöjt fukttillstånd.

I samband med bränningen upprättades en skogräns omkring det utsatta området. Alla var tvungna att byta till rena skor när de passerade in till områdena innanför gränsen. Detta gjordes för att inte riskera att den rena ytan återigen kontaminerades med organiskt material. Figur 49.



Figur 49 Upprättad skogräns i samband med bränning av plattan för att avlägsna organiskt material.

På flera ställen fanns det organiskt material på betongytan som gnistrade till under brännaren. Detta kan anses som ett kvitto på att bränning av organiskt material på betongytan gjorde nytta.

Efter att Platonmattan monterats tog man upp inspektionsluckor för framtida bruk på några ställen. Under varje inspektionslucka placerades indikatorer på betongytan. Indikatorernas syfte var att kontrollera fuktnivån i luftspalten efter att byggnaden tagits i bruk. Se figur 47.

6.6 Uppreglat golv

Även med uppreglade golv återkommer de tre perioderna då principiellt olika fuktkällor uppträder.

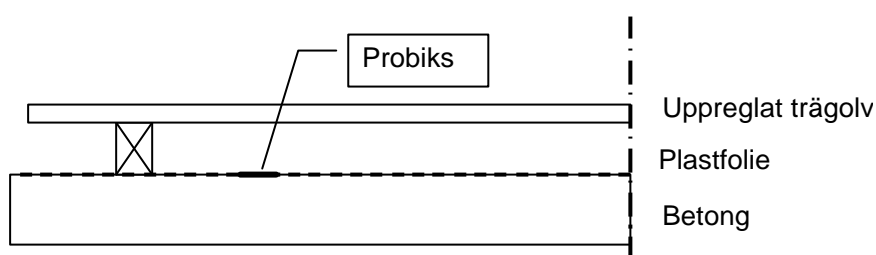
Den första perioden innefattar kvarvarande byggfukt i betongbjälklaget och andra fuktkällor som uppkommit redan innan golvet monterats. Ett exempel är om man använder trä som är för fuktigt när man bygger golvet. Som nämnts tidigare i kapitel 6.2 är risken för exempelvis mögelskada större för trä som tidigare varit fuktigt än för trä som bara torkat hela tiden.

Nästa kritiska period då fukt kan tillföras konstruktionen är byggskedet. Om golvet färdigställs helt eller delvis innan husets klimatskal är helt tätt riskerar vatten rinna in under golvet och sprida sig över stora ytor. Ett läckage från exempelvis en slagkoppling kan få stora konsekvenser om vattnet rinner in under ett delvis färdigställt golv.

Den tredje perioden är byggnadens fortvarighetstillstånd och innefattar fukt som tillkommer efter det att byggnaden tagits i bruk. Speciellt kan nämnas att ledningsdragningar av vattenrör under det uppreglade golvet är en av de farligaste riskkonstruktionerna som förekommer i dag. Vid ett läckage kan

vattnet sprida sig till stora ytor under lång tid utan att det upptäcks. Ett litet läckage på ett vattenrör i det uppreglade golvet kan ofta ställa till stor skada utan att upptäcks.

Fuktnivån i konstruktionen kan kontrolleras genom att placera indikatorer under det uppreglade trägolvet. En placering av givarna nära väggen under det färdiga golvet kan möjliggöra att inspektionshålet som behövs för indikatorernas avläsning kan placeras gömd under sockellisten, se figur 50. Flera indikatorer utplacerade på olika ställen under ett uppreglat trägolv kan detektera lokala avvikelser i konstruktionens fuktfördelning. Eventuella lokala avvikelser kan utnyttjas för att lokalisera fel som i förlängningen leder till fuktskada.



Figur 50 Placering av indikator under uppreglat trägolv.
Avläsning genom inspektionsslucka eller -hål.

6.7 Trärege lytterväggar

Tre skilda perioder med principiellt olika fuktkällor uppträder även hos trärege lytterväggar. I stort sett är problemen desamma både vid utfackningsväggar och vid bärande ytterväggar av trä.

Den första perioden innefattar tidig byggfukt och andra fuktkällor som uppkommit redan innan montering av trärege lytterväggen. Ett exempel är att man använder för fuktiga material från början. För att minska fuktbelastningen kan exempelvis utfackningsväggar byggas inomhus på en fabrik och därefter monteras på plats.

Nästa kritiska period då fukt kan tillföras konstruktionen är byggskedet. Ibland tillåts väggen att stå exponerad mot en (tidvis) fuktig omgivning under byggskedet. Det är inte heller ovanligt att det kan stå fritt vatten på betonggolvet. Delar av det vattnet kan snabbt sugas upp i träet. Risken för att det skall bli ett kvarstående problem ökar om ytterväggens insida färdigställs innan fasadbeklädnaden färdigställs på utsidan. Inklusivt alla detaljer vid anslutningar mot fönster med mera är tätade.

Den tredje perioden är byggnadens fortvarighetstillstånd och innefattar fukt som tillkommer efter det att byggnaden tagits i bruk. Speciellt kan nämnas att skalmurar av tegel är en farlig riskkonstruktion i fortvarighetstillståndet. Om inte det vatten som tränger in genom fasaden, under exempelvis ett regn, kan ledas bort på ett säkert sätt blir trärege lytterstommen fuktig under lång tid och riskerar då att få grova fuktskador.

Innan väggens insida färdigställs kan indikatorerna placeras väl synliga på den öppna trärege lytterkonstruktionen. Montering och avläsning av utslagen görs då enkelt och obehindrat med blotta ögat. Tänk dock på att om det råder fri luftcirkulation runt indikatorn är utslaget ett mått på fukttillståndet hos omgivande luft snarare än det som råder i trärege lytterkonstruktionen. Figur 51.



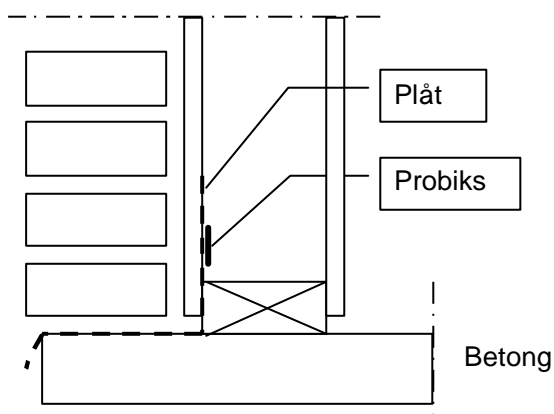
Figur 51 Placering av indikator för avläsning av utslag innan väggens insida färdigställs.

Indikatorer kan placeras så att de även kan avläsas efter att väggens insida färdigställts. Så länge konstruktionen är öppen kan indikatorerna avläsas obehindrat om den placeras enligt figur 52. I samband med att insidan av väggen färdigställs, medan man fortfarande ser indikatorn, är det lämpligt att borra inspektionshålet för avläsning av indikatorn. Genom hålet kan sedan indikatorns utslag avläsas med hjälp av fiberoptik som visas i figur 38.



Figur 52 Placering av indikator för avläsning av utslag även efter att väggens insida färdigställs.

Indikatorn kan användas för att övervaka fuktfördelningen hos nedre delen av en träregelvägg med skalmur av tegel. I denna riskkonstruktion bör indikatorn placeras mot insidan på den yttre skivan, strax ovanför syllen enligt figur 53. Indikatorns utslag läses med hjälp av fiberoptik inifrån rummet via ett inspektionshål som borrats genom väggens inre skiva.



Figur 53 Placering av indikator för övervakning av fukttillståndet hos nedre delen av träregelkonstruktionen under fortvarighetstillstånd.

6.8 Träregelinnerväggar

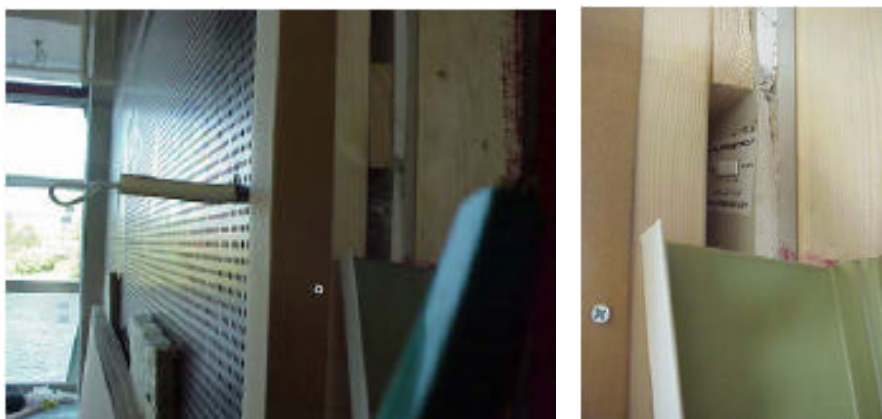
Fuktbelastningar på träregelinnerväggar kan också de beskrivas utifrån de tre principiellt olika perioderna som tidigare nämnts.

Den första perioden innefattar tidig byggfukt och andra fuktkällor som uppkommit redan innan montering av träregelväggen. I stort sett är det samma fuktbelastningar på innerväggar under den här perioden som de som beskrivs för ytterväggar i kapitel 6.7.

Den andra kritiska period då fukt kan tillföras konstruktionen är byggskedet. Ibland tillåts den halvfärdiga väggen att stå exponerad mot en (tidvis) fuktig omgivning där det till och med kan stå fritt vatten på betonggolvet. Om innerväggarna istället byggs efter det att klimatskalet blivit tätt minskar fuktbelastningen på innerväggarna markant.

Den sista perioden är byggnadens fortvarighetstillstånd. Dåligt utformade anslutningar mot ytterväggar och betonggolv kan tillsammans med läckande rörledningar vara olika källor till fukt som uppkommer under den här perioden. Oftast är det inte lika stor risk för fuktproblem med innerväggar som för ytterväggar av trä i fortvarighetstillståndet.

Innan väggens färdigställs kan indikatorerna placeras väl synliga på den öppna träregelkonstruktionen. Tänk dock på att utslaget snarare visar tillståndet hos omgivande luft än i träreglarna. Indikatorer som placeras inne i konstruktionen kan avläsas med fiberoptik genom ett inspektionshål eller genom att någon del plockas bort, exempelvis en list som i figur 54.



Figur 54 Placering av indikatorer i träregelvägg, avläsning vid dörrhål.

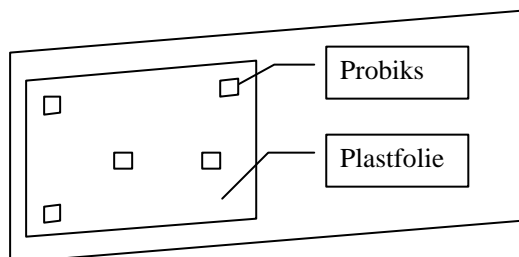
6.9 Betongvägg

De tre skiljda perioderna med principiellt olika fuktkällor uppträder även hos betongväggar.

I stort sett är fuktkällorna för väggar desamma som för bjälklag av betong under den första perioden. Betongen innehåller en stor mängd byggfukt som måste torka ut för att komma i jämvikt med omgivningen. Om ytskikt appliceras innan betongen torkat ordentligt kan de skadas. Exempel på sådan skada kan vara bubblor på tapeter. Bubblor uppkommer för att tapeterna inte sträcker ut sig ordentligt i samband med att de inte torkar på rätt sätt på ett fuktigt underlag.

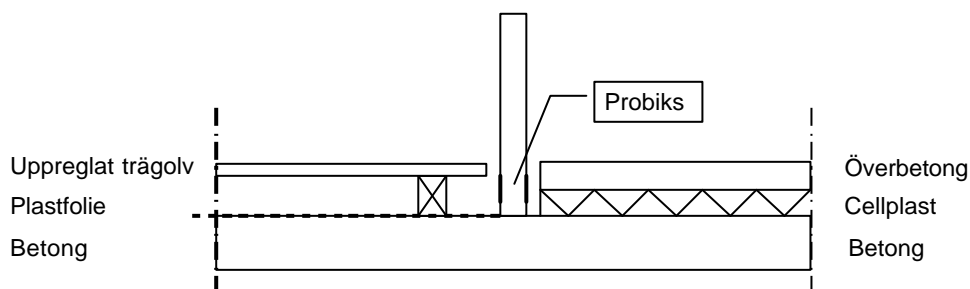
I byggskedet kan fuktkällor exempelvis vara regnvatten, speciellt om betongkonstruktionen inte skyddas mot nederbörd. Fuktkällor i fortvarighetstillståndet kan vara dåligt utformade anslutningar mot ytterväggar och betonggolvet eller läckage.

Indikatorerna kan placeras på väggens yta under en tättslutande plastfolie enligt figur 55. Avläsning sker innan väggens ytmaterial monteras.



Figur 55 Placering av indikatorer på betongvägg, under tättslutande plastfolie.

På en mellanvägg av betong kan indikatorn placeras permanent om det exempelvis finns en hög övergolvskonstruktion. Indikatorn kan då placeras på väggen under golvnivån enligt figur 56.



Figur 56 Placering av indikatorer vid mellanvägg av betong.

6.10 Materiallagring och torkklimat

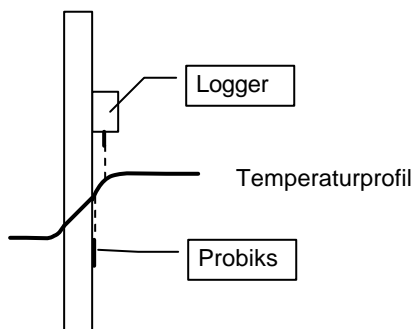
På en byggarbetsplats kan indikatorerna även användas för att kontrollera klimatet vid lagring av material samt att övervaka torkklimatet inne i byggnaden.

Vid kontroll av lagrat material kan indikatorer placeras direkt på materialytan, men ibland också under ett fukttätt transportskydd. Dessa två placeringar mäter oftast helt olika saker. Indikatorn som sitter på materialytan eller utanpå transportförpackningen visar på fuktnivån i lokalen som materialen lagras i, detta är inte direkt kopplat till hur fuktiga själva materialen egentligen är.

Indikatorerna som placerats innanför transportförpackningen påverkas däremot av fuktillståndet hos själva materialet. Ett sätt att mäta materials fuktillstånd är att se till att transportförpackningen är helt tät och därefter mäta fuktigheten inuti förpackningen då luftens fuktnivå kommit i jämvikt med den inuti materialet. Indikatorn skall då placeras så att luften kan cirkulera fritt kring den.

En indikator som placerats på ett ställe kan aldrig samtidigt avgöra både hur fuktigt det är i lagringslokalen och hur fuktigt materialet är. Bäst kan vara att övervaka det med separata indikatorer.

För att övervaka torkklimatet på byggarbetsplatsen kan indikatorer placeras på vertikala ytor där de är lätta att läsa av. Placering på ytterväggar eller andra ytor som har en lägre temperatur än rumsluften bör dock undvikas, eftersom indikatorerna då kan visa för högt värde. Det vill säga ge utslag även fast fuktnivån i rumsluften inte är riktigt så fuktig. Anledningen är att RF-nivån i luften ökar då temperaturen sjunker på grund av värmens övergångsmotstånd nära ytan, se figur 57. Detta kan få till konsekvens att en indikator och en logger som placerats precis intill (ovanför i figuren) varandra visar på olika RF-värden.



Figur 57 Placering av indikator på yttervägg kan medföra att temperaturgradienten påverkar avläst RF-nivå.

Vid övervakning av byggnadens torkklimat är det viktigt att komma ihåg att även temperaturen är en viktig faktor. Dock kan inte den registreras med hjälp av dessa indikatorer.

7 Elementbygge

Pettersson och Skuflic (2004) har studerat möjligheten att använda indikatorerna för att öka fuktsäkerheten vid uppförandet av elementbyggda småhus.

I undersökningen monterades Probiqs BI och HU samt en traditionell logger för RF och temperatur på olika byggelement i fabriken. Mätinstrumenten följde sedan med byggelementet under hela transporten och monteringen och i samband med tätt hus eller strax före inbyggnad av elementet avlästes de.

Resultaten från de två studierna som utfördes visar på att indikatorerna har god samstämmighet med de traditionella loggarna, med rimlig felmarginal. Indikatorerna kan med god noggrannhet visa om byggelementen varit exponerade för oönskat hög fuktbelastning, samt i så fall under hur lång tid.

7.1 Väggelement

Denna undersökning utförs på ett byggelement (modul) i form av en vägg som tillverkats av A-hus i Anneberg. Mätningen börjar i tillverkningens slutskede, när elementet lämnar produktionslinan i fabriken och sträcker sig genom transporten till byggarbetsplatsen och avslutas efter att elementet monterats i huskroppen.

Tre uppsättningar med indikatorer BI och HU samt en datalogger som monterades på ett utvalt byggelement. Det utvalda elementet var en vägg med trästomme, isolering av mineralull och yttre fasad av träpanel. En uppsättning av mätarna monteras på elementens insida i fönstervinkeln, se figur 58. De andra två uppsättningarna monteras på väggens ytterpanel i anslutning till fönsterfodret.



Figur 58 Tillverkningslina hos A-hus i Anneberg samt Väggelement med mätpunkt i fönstervinkeln vid gul-svart tejp.

Dagen efter monteringen av mätutrustningen packades väggelementet ytterst i ett "transportpaket" tillsammans med flera andra element.

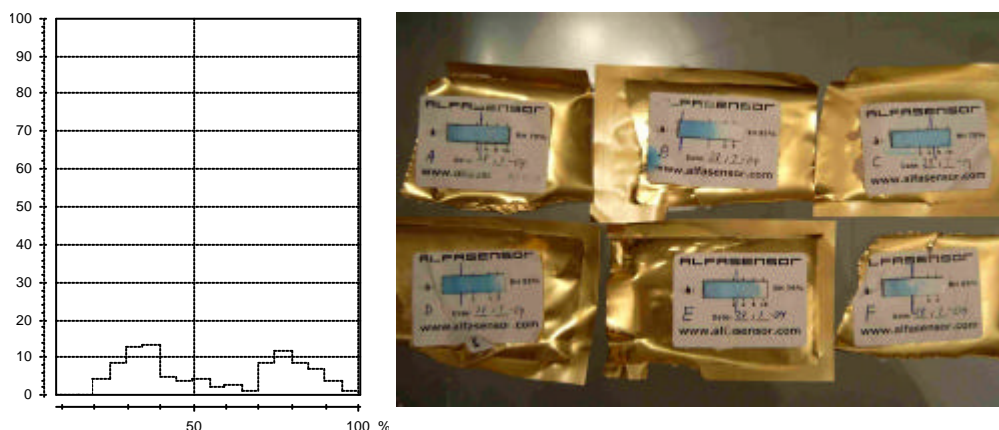
Emballering, som består av en plastfolie som täcker överdel och samtliga sidor av paketet men lämnar underdelen öppen, utfördes inomhus. Paketet förvarades därefter utomhus i fem dygn i väntan på leverans.

Det inplastade paketet med byggelement transporterades till byggarbetsplatsen med lastbil. Dagen efter att paketet lastats vid fabriken var det framme vid arbetsplatsen och redan samma dag monterades samtliga elementen på plats i huskroppen, se figur 59. Dagen därefter avlästes indikatorer och loggrar på väggelementet.



Figur 59 Väggelement monterat på plats i huskroppen samt Indikatorer och logger monterad i fönstervinkeln.

Tidslängden för loggningen samt den tid som indikatorerna varit exponerade var 8 dygn. Efter avläsning sammanställdes de loggade RF-nivåerna i ett histogram. Det är en "frekvenskurva" där den sammanlagda varaktigheten av varje RF-nivå visas som "staplar" intill varandra. Histogrammet i figur 60 har utvärderats från logger 3 i fönstervinkeln. Motsvarande indikatorer är E och F i figur 60.



Figur 60 Frekvenskurva för RF från logger 3, indikator E och F var placerade intill loggern i fönstervinkeln på väggelementet.

7.2 Golvbjälklagselement

Denna undersökning utförs på ett byggelement (modul) i form av ett golvbjälklag som tillverkats av A-hus i Derome. Mätningen börjar utomhus på fabriken lagringsplats och sträcker sig genom transporten till byggarbetsplatsen och avslutas strax innan elementet monterats i huskroppen.

Tre uppsättningar med indikatorer BI och HU samt en datalogger monterades i ett utvalt transportpaket. Paketet bestod av fem bjälklagselement av trä som staplats på varandra och täckts med plastfolie, ovanpå och på sidorna, innan det lyftes ut från fabriken, figur 61. En uppsättning av mätarna monteras på elementens kortsida och de övriga två uppsättningar på långsidan, en på det översta elementet i paketet och en på det understa närmast marken.



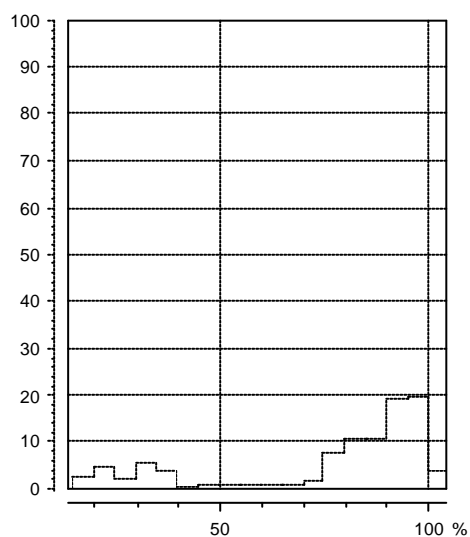
Figur 61 Golvbjälklagselement emballerat för lagring samt indikatorer och logger monterad på bjälklaget

Paketet hade stått utomhus på lagringsgården i några veckor då mätutrustningen monterades. Därefter transporterades det med lastbil till byggarbetsplatsen och 18 dygn efter monteringen avlästes mätarna innan montering av elementen. Figur 62.



Figur 62 Demontering av mätinstrument samt montering av bjälklagselement

Tidslängden för loggningen samt den tid som indikatorerna varit exponerade var 18 dygn. Efter avläsning sammanställdes de loggade RF-nivåerna i ett histogram (frekvenskurva). Histogrammet i figur 63 har utvärderats från logger 4. Motsvarande indikatorer är G och H.



Figur 63 Frekvenskurva för RF från logger 4, indikator G och H var placerade intill loggern på bjälklagselementet.

8 Kryprumsgrunder

Gustafsson och Hagman (2002) har studerat möjligheten att använda indikatorer för att detektera oönskade fuktbelastningar i kryprumsgrunder.

I undersökningen monterades Probiks HU samt traditionella loggers för RF och temperatur i tre olika kryprumsgrunder. Mätinstrumenten fick sitta på plats under en vecka i maj 2002 innan de lästes av.

Resultaten från de tre studierna som utfördes visar på att indikatorerna har god samstämmighet med de traditionella loggarna, med rimlig felmarginal. Indikatorerna kan med god noggrannhet visa om fuktbelastningen i kryprumsgrunden varit oönskat hög under mätperioden, samt i så fall under hur lång tid.

8.1 Kryprumsgrund 1

Den första uteluftventilerade kryprumsgrunden som studerades hörde till ett friliggande enfamiljshus i Onsala i Västra Sverige, cirka 127 m². Huset är byggt 1993 på ett dränerande skikt av Makadam, utan avdunstningsskydd på marken i grunden.

Huset har tryckimpregnerade syllar och bärlinor. Blindbotten består av masonitskivor och tryckimpregnerade brädor. För övrigt är ventilationen i grunden mycket god.

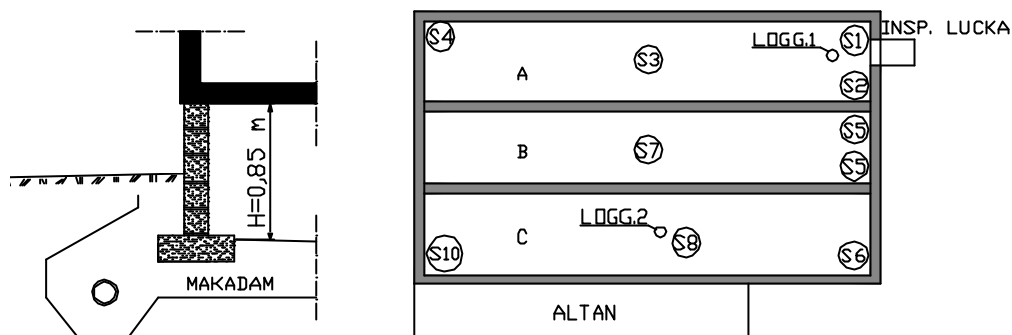
Ingen synlig fukt eller mögelskada kunde observeras. Däremot fanns det mycket virke o dylikt liggandes på marken i kryprumsgrunden. Se figur 64.



Figur 64 Hus A i Onsala samt en bild från dess kryprumsgrund.

Tio stycken indikatorer av typen HU placerades på blindbotten i kryprumsgrunden, se figur 65. Indikatorer märkta S1 samt S4 i figuren placerades i nära anslutning till uteluftsventiler.

Två loggar placerades i kryprumsgrunden mellan mark och bjälklag. Placeringen framgår av figur 65. Logger nummer 1 placerades i nära anslutning till ett avloppsrör.

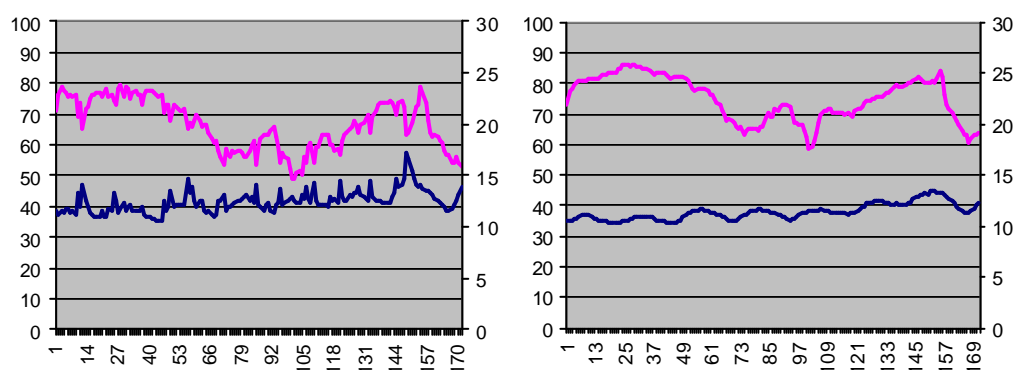


Figur 65 Detalj av grundmur samt planskiss med indikatorers och loggars placeringar utmärkta.

Vid avläsning av mätarna kunde man urskilja en liten tendens till utslag på indikator S1 som var belägen i anslutning till en uteluftsventil. Inga andra indikatorer visade något utslag.

Resultatet från de traditionella loggarna visar att fuktnivån i krypgrunden varit omkring 85 % RF eller lägre under mätperioden, se figur 66. Det är rimligt att indikatorerna inte gett något nämnvärt utslag eftersom deras utslagsnivå är 85 % RF.

De snabba och plötsliga temperaturtopparna och dito RF-sänkningarna i resultatet från logger 1 beror sannolikt på värmetillskottet från avloppsröret i anslutning till loggern.



Figur 66 RF och temp logg 1 respektive logg 2, Placerad mellan mark och bjälklag enligt figur 67.

8.2 Kryprumsgrund 2

Den andra uteluftventilerade kryprumsgrunden som studerades hörde också till ett friliggande enfamiljshus i Onsala i Västra Sverige, cirka 87 m². Huset är byggt 1992 på ett dränerande skikt av Makadam, utan avdunstningsskydd på marken i grunden.

Huset har tryckimpregnerade syllar och bärlinor. Blindbotten består av masonitskivor och tryckimpregnerade brädor. Normal ventilationen i grunden.

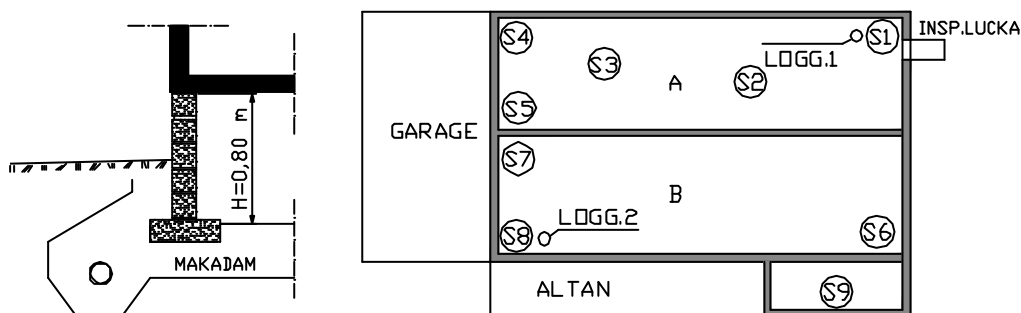
Ingen synlig fukt eller mögelskada kunde observeras. Däremot fanns det lite virke o dylikt liggandes på marken i kryprumsgrunden. Se figur 67.



Figur 67 Hus B i Onsala samt en bild från dess kryprumsgrund.

Nio stycken indikatorer av typen HU placerades på blindbotten i kryprumsgrunden, se figur 68. Indikatorer märkta S1 samt S6 i figuren placerades i nära anslutning till uteluftsventiler.

Två loggar placerades i kryprumsgrunden mellan mark och bjälklag. Placeringen framgår av figur 68. Logger nummer 1 placerades i nära anslutning till en uteluftsventil.

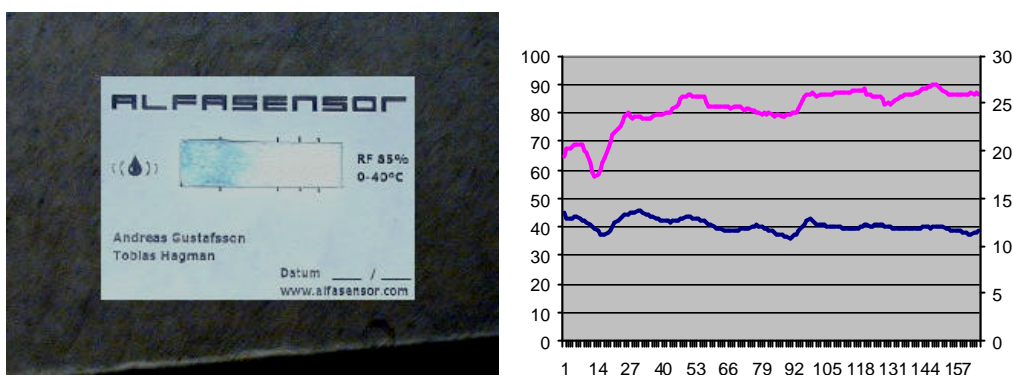


Figur 68 Detalj av grundmur samt planskiss med indikatorers och loggars placeringar utmärkta.

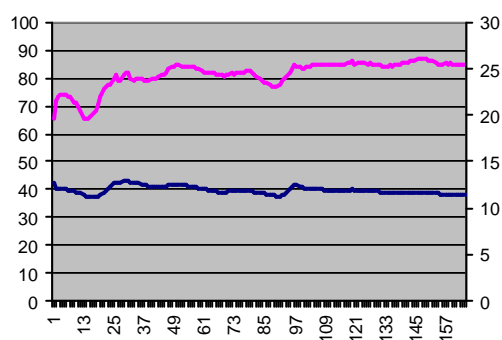
Vid avläsning av mätarna hade ungefär hälften av indikatorerna slagit ut. Indikator nummer 2, 3 och 6 hade ungefär dubbelt så stort utslag som indikator nummer 1, se figur 69. Det fanns ingen antydning till utslag på indikatorerna 4, 5, 7, 8 och 9 som var placerad längst inne i krypgrunden.

Resultatet från de traditionella loggarna visar att fuktnivån i kryprumsgrunden varit mellan 85 – 90 % RF under andra halvan av mätperioden. Möjligen har det varit något högre RF i närheten av uteluftsventil än vad det varit längre in i kryprumsgrunden. Se figur 70.

Det är rimligt att indikatorerna slagit ut på grund av fuktnivån i kryprumsgrunden under den här mätperioden. Det är inte orimligt att skillnader i RF i kryprumsgrunden resulterar i att några av indikatorerna som sitter något torrare inte slår ut under denna begränsade mätperiod.



Figur 69 Utslag hos Indikator 1 samt loggade värden för RF och temp, logg 1. Indikator placerad på blindbotten, logg mellan mark och bjälklag.



Figur 70 Loggade värden för RF och temp, logg 2 placerad mellan mark och bjälklag enligt figur 68.

8.3 Kryprumsgrund 3

Den tredje uteluftventilerade kryprumsgrunden som studerades hörde till ett radhus i två våningar, beläget i Västra Sverige, cirka 225 m². Huset är byggt 1960 med sandig jord synlig i kryprumsgrunden. Diffusionsspärr av plast på marken med mellanrum längst grundmuren.

Blindbotten består av oimpregnerade brädor. Normal ventilation i grunden.

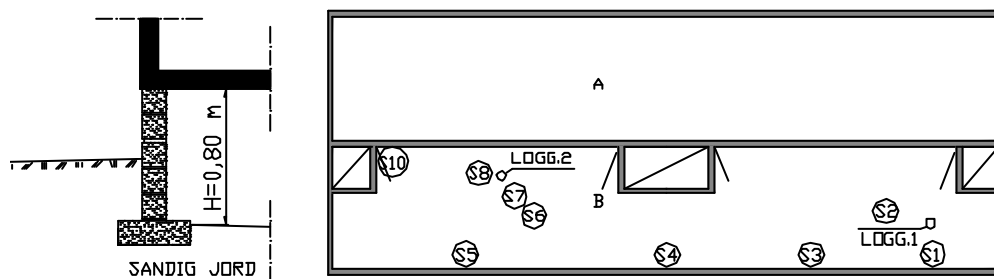
Ingen mögellukt observerades men misstänkt mögelpåväxt eller kalkutfällning på grundmur och mark. Markmaterialet var mycket fuktigt, speciellt i anslutning till grundmur. Det också lite virke o dylikt liggandes på marken i kryprumsgrunden. Se figur 71.



Figur 71 Hus 3 på Hisingen samt en bild från dess kryprumsgrund.

Nio stycken indikatorer av typen HU placerades på blindbotten i kryprumsgrunden, se figur 72 samt tabell 10. Indikatorer märkta S1, S3 samt S5 i figuren placerades i nära anslutning till uteluftsventiler.

Två loggar placerades i kryprumsgrunden mellan mark och bjälklag. Placeringen framgår av figur 72 samt tabell 2. Logger nummer 1 placerades i anslutning till en uteluftsventil.



Figur 72 Detalj av grundmur samt planskiss med indikatorers och loggars placeringar utmärkta.

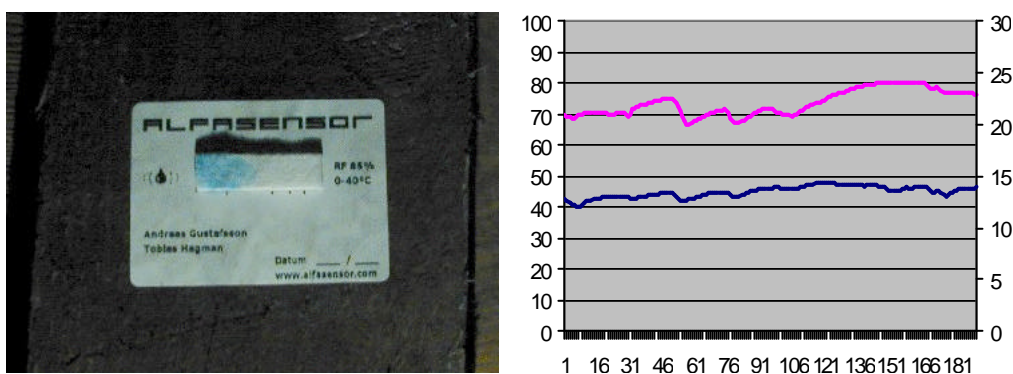
Tabell 2. Placering av indikatorer och loggar i kryprumsgrund 3.

Nr	Placering	Utslag
1	Blindbotten i anslutning till ventil	–
2	Blindbotten	–
3	Blindbotten i anslutning till ventil	2 streck (figur 73)
4	På betong grundsula i anslutning till grundmur	5 streck
5	Blindbotten i anslutning till ventil	Tendens
6	Rörisolering nära bjälklag	–
7	Diffusionsspärr (plast) på mark	1 streck
8	Grundsula i anslutning till grundmur hjärtvägg	5 streck (figur 74)
9	Blindbotten i anslutning till inspektionslucka	–
Logg1	Placerad mellan mark och bjälklag	–
Logg2	Placerad nära grundsula hjärtvägg	–

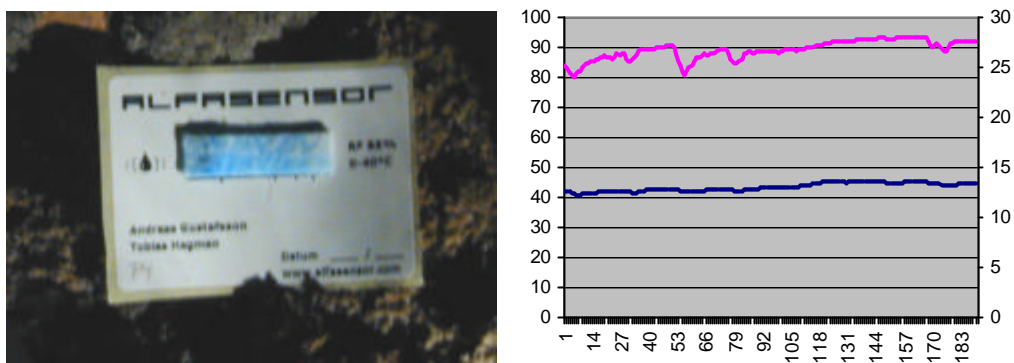
Vid avläsning av mätarna hade ungefär hälften av indikatorerna slagit ut. Störst utslag hade indikator nummer 4 och 8 som placerats mot grundsulan. Även indikator 7 som placerats mot diffusionsspärren på marken samt indikator 3 och 5 som placerats i närheten av uteluftsventil visade små utslag.

I denna undersökning var inte de traditionella loggarna placerade i direkt anslutning till indikatorerna, utan en bit därifrån. De loggade mätvärdena visar på att fuktnivån i kryprumsgrunden varit mellan 80 – 95 % RF som mest i delar av kryprumsgrunden. Se figur 73 & 74.

Det är rimligt att indikatorerna slagit ut på grund av fuktnivån i kryprumsgrunden under den här mätperioden. Det är inte orimligt att skillnader i RF i kryprumsgrunden resulterar i att några av indikatorerna som sitter något torrare inte slår ut under denna begränsade mätperiod.



Figur 73 Utslag hos Indikator 3 samt loggade värden för RF och temp, logg 1. Indikator placerad på blindbotten, logg mellan mark och bjälklag.



Figur 74 Utslag hos Indikator 5 samt loggade värden för RF och temp, logg 2. Indikator placerad på blindbotten, logg på grundsula hjärtvägg.

9 Källare

Hajjari (2004) har studerat möjligheten att använda indikatorer för att detektera oönskade fuktbelastningar i källare.

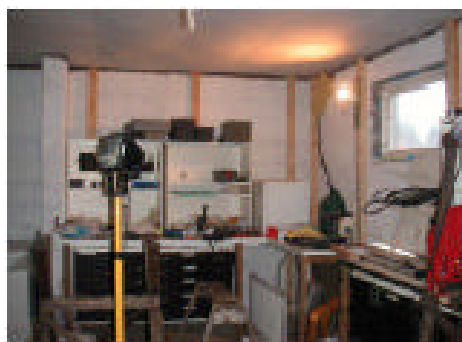
I undersökningen monterades Probiks BI, HU samt traditionella loggers för RF och temperatur i en oisolerad och en invändigt isolerad källare. Mätinstrumenten fick sitta på plats under två till tre veckor i december 2003 och januari 2004 innan de lästes av.

Resultaten från de två studierna som utfördes visar på att indikatorerna har god samstämmighet med de traditionella loggarna, med rimlig felmarginal. Indikatorerna kan med god noggrannhet visa om fuktbelastningen i källaren varit önskat hög under mätperioden, samt i så fall under hur lång tid.

9.1 Källare 1

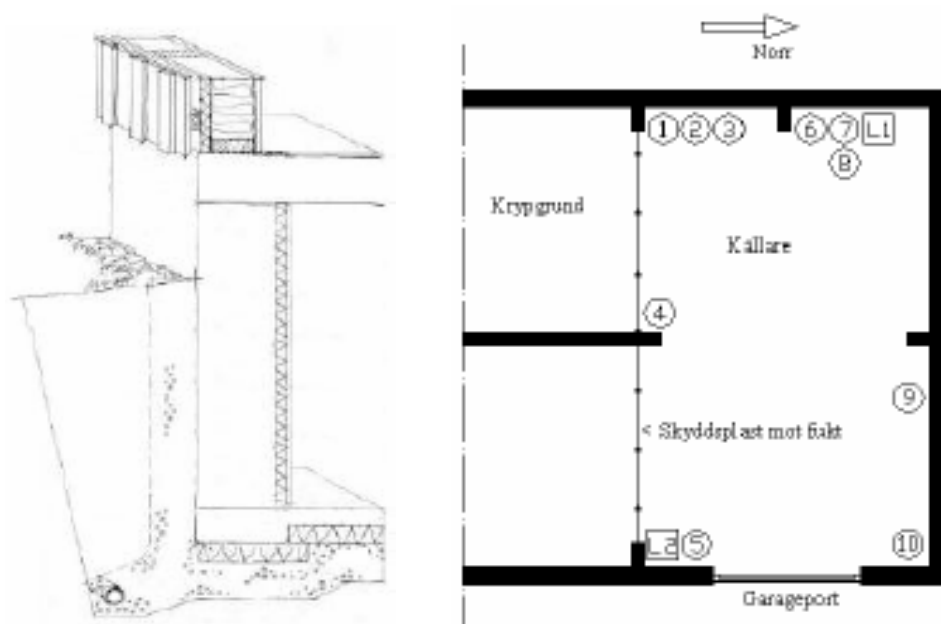
Den första källaren som studerades hörde till ett friliggande enfamiljshus i Hjuvik i västra Sverige, källararea cirka 45 m². Huset är byggt 1999.

Huset har delad grundläggning med både en krypgrund och en delvis isolerad källare. Väggen som skiljer källaren från krypgrunden är isolerad med cellplast. Källarens väggar består av oisolerade block av lättklinkerbetong. Västra samt östra källarväggen är delvis belägen under mark (suterräng). Det finns inga synliga fuktproblem i källaren. Se figur 75.



Figur 75 Hus A i Hjuvik samt interiören i källarens nordvästra del.

Tio stycken par av indikatorer BI och HU placerades på olika ställen i källaren tillsammans med två traditionella loggrar för RF och temperatur. Placeringarna av dessa beskrivs i figur 76 samt av tabell 3.

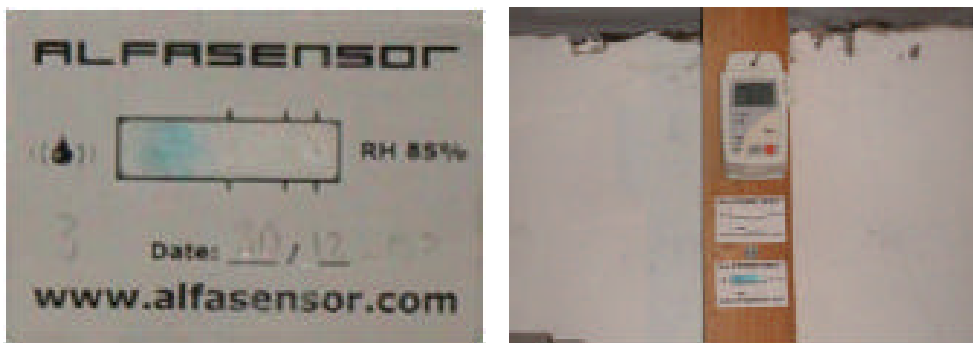


Figur 76 Principiell uppbyggnad av källarens yttervägg samt planskiss med placering av indikatorer och loggrar utmärkt.

Tabell 3. Placering av indikatorer och loggrar i källare, Hus A i Hjuvik.

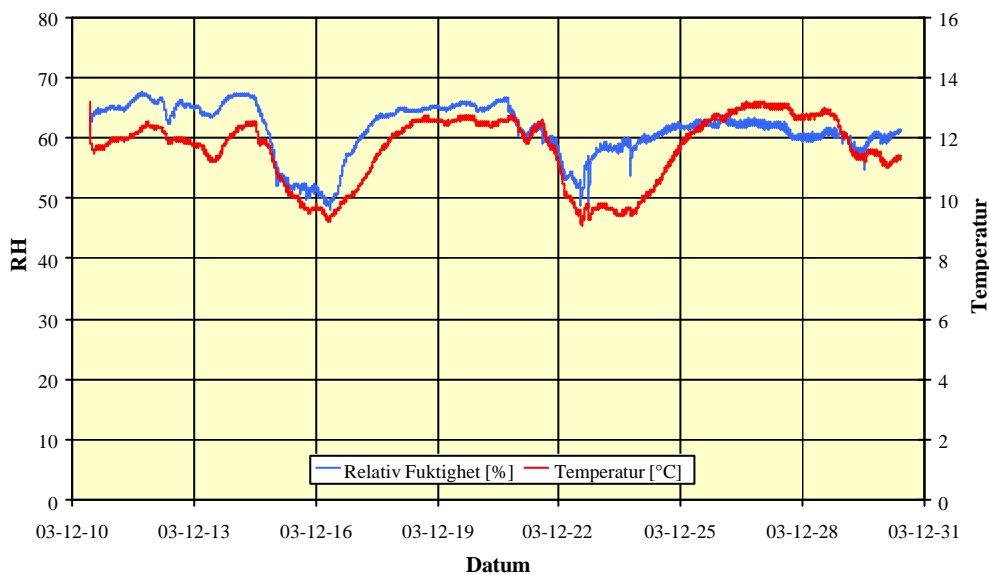
Nr	Placering	Utslag BI	Utslag HU
1	Mitt på vägg bakom isolering	Fullt	–
2	På plankor mitt på vägg bakom isolering	Fullt	–
3	På plankor i marknivå bakom isolering	Fullt	Tendens
4	På taket	Fullt	–
5	På taket nära garagedörr och krypgrund	Fullt	–
6	På plankor på golvet	Fullt	–
7	Högst upp på väggen	3/4	–
8	På taket	3/4	–
9	Mitt på väggen	Fullt	–
10	På taket intill garagedörren	Fullt	–
Logg 1	På vägg i takhöjd (vid 7)	–	–
Logg 2	På vägg i takhöjd (vid 10)	–	–

Loggarna placerades i var sin ände av källaren, högt upp nära taket. Ett par indikatorer placerades också i anslutning till varje logg. Samtliga indikatorer och loggrar lästes av efter två veckor, se tabell 3 samt figur 77.



Figur 77 Utslag hos indikator HU i par 3 samt bräda monterad på källarens västra vägg med logger 1 och indikator par 7.

De två loggarna visade mycket snarlika värden med endast någon % RF skillnad. Fuktnivån låg kontinuerligt under 75 % RF enligt loggarna men Probiks BI gav ändå utslag. Sannolikt beror det på att väggens yta är kallare än luften i lokalen. Luften närmast väggen kyls då av och därmed höjs RF. Indikatorerna som sitter direkt på ytan påverkas av denna temperatur effekt medan loggarnas sensorer är placerade en liten bit från väggen och påverkas inte. Se figur 78.

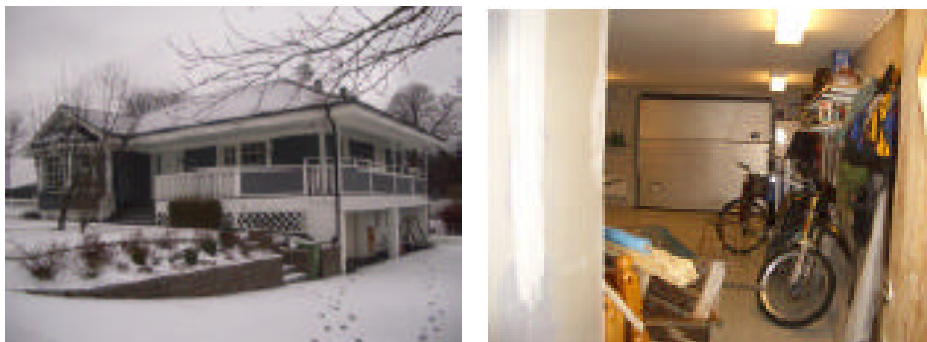


Figur 78 RF och temperatur uppmätt under tre veckor med logger 1 i källare.

9.2 Källare 2

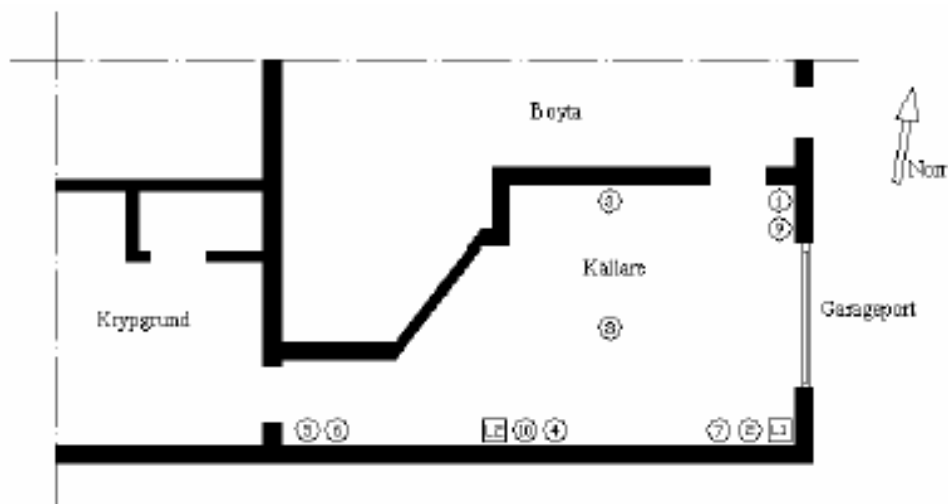
Den andra källaren som studerades hörde till ett friliggande sutterängvilla i Onsala i västra Sverige, källararea cirka 30 m². Huset är byggt 1989.

Villans har delad grundläggning med både en kryppgrund och en invändigt isolerad källare. Enbart garage-delen av källaren ingår i undersökningen. Det fanns inga synliga fuktproblem i källaren. Se figur 79.



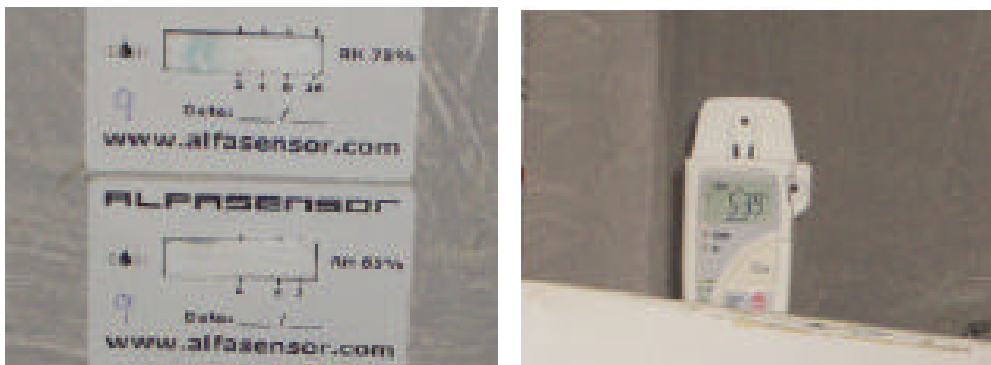
Figur 79 Hus B i Onsala samt interiören i källarens garage-del.

Tio stycken par av indikatorer BI och HU placerades på olika ställen i källaren tillsammans med två traditionella loggrar för RF och temperatur. Logger 1 placerades högt upp nära taket vid garageporten medan logger 2 placerades på golvet bakom en gipsskiva. Placeringarna framgår av figur 80.



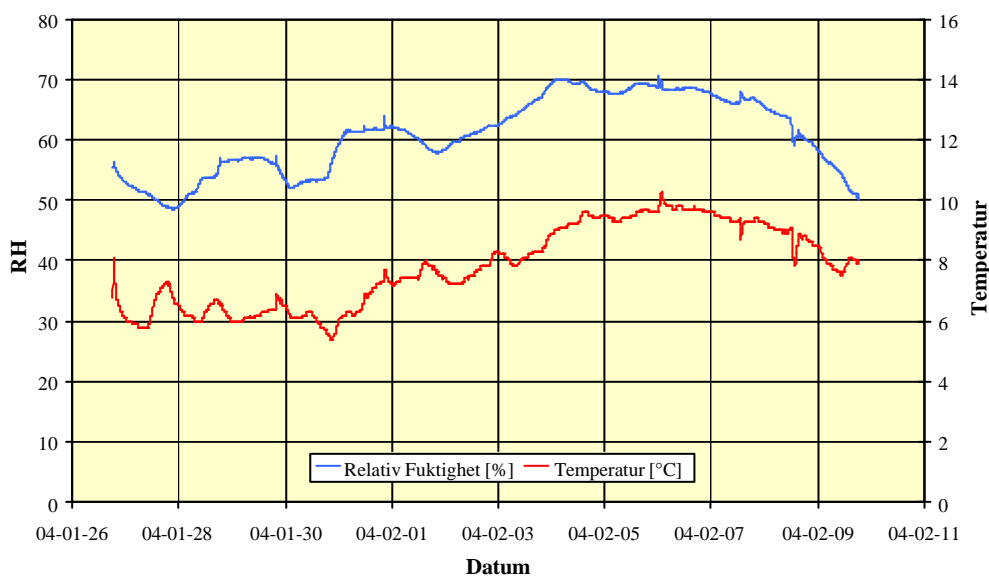
Figur 80 Planskiss av källaren med indikatorers och loggars placeringar utmärkta.

Vid avläsning efter tre veckor uppvisade ingen indikator något utslag. Endast en antydning till begynnande utslag kunde avläsas hos exempelvis indikator BI med placering nummer 9 nära dörren, se figur 81.



Figur 81 Utslaget hos indikator par 9 samt logger 1, dessa var placerade på ömse sidor av garageporten.

De två loggarna visade mycket snarlika värden med endast någon % RF skillnad. Fuktnivån låg kontinuerligt under 75 % RF enligt loggarna vilket överensstämmer med att inga indikatorer av typen BI gav något utslag. Se figur 82.



Figur 82 RF och temperatur i källare nära garageport. Värdena loggade under 2 veckors mätperiod januari och februari 2004.

10 Kallvindar

Agrell (2004) har studerat möjligheten att använda indikatorer för att detektera önskade fuktbelastningar på kallvindar.

I undersökningen monterades Probiks BI, HU samt traditionella loggers för RF och temperatur på två olika kallvindar. Mätinstrumenten fick sitta på plats under två veckor i november 2003 innan de lästes av.

Resultaten från de två studierna som utfördes visar på att indikatorerna har god samstämmighet med de traditionella loggarna, med rimlig felmarginal. Indikatorerna kan med god noggrannhet visa om fuktbelastningen på kallvinden varit oönskat hög under mätperioden, samt i så fall under hur lång tid.

10.1 Kallvind 1

Den första kallvinden som studerades hörde till ett friliggande enfamiljshus i två våningar beläget i västra Sverige, vindarea cirka 64 m². Huset är byggt 1912 och tillbyggt i två etapper 1977 och 1987.

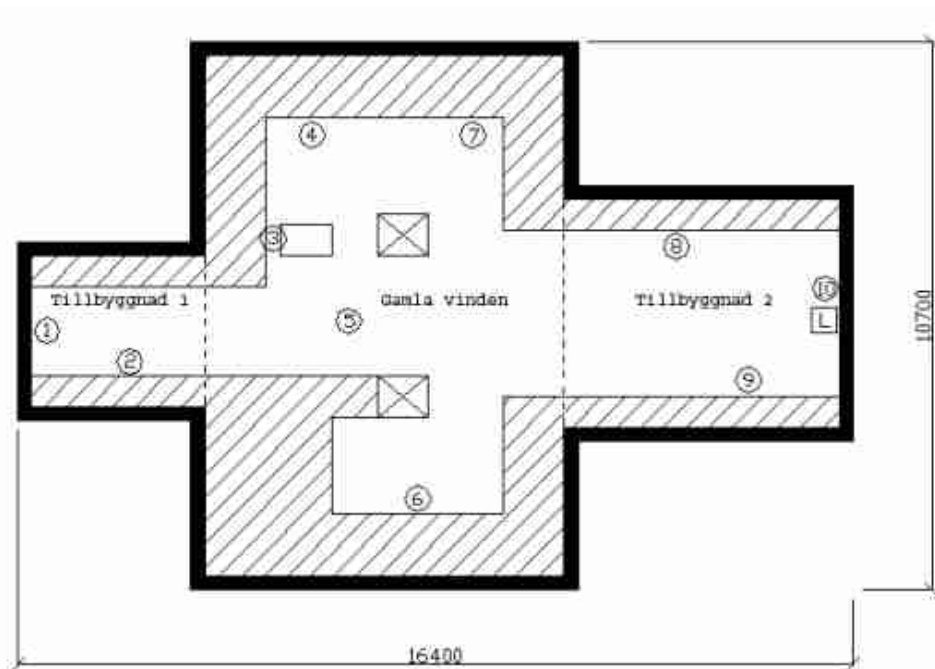
Större delen av vinden har full golvbeläggning ovanpå isoleringen, på några ytor är isoleringen dock bara täckt med papp. I södra hörnet av vinden ovanför balkongen saknas isolering helt.

I den först utbyggda etappen finns tendens till fukt intill uteluftventil på väggen. I den senast utbyggda etappen finns synliga mögelangrepp. Vinden används till förråd och upplag för virke och isolering. Se figur 83.



Figur 83 Hus A i Hovås samt interiör i vindens andra tillbyggnad.

Tio stycken par av indikatorer BI och HU placerades på olika ställen på kallvinden tillsammans med en traditionell logger för RF och temperatur. Placeringarna framgår av figur 84 samt av tabell 4.



Figur 84 Skiss av vindens utformning på hus A. Loggrar och indikatorernas placering finns markerade.

Tabell 4. Placering av mätare på kallvind, enfamiljshus byggt 1912.

Nr	Placering	Utslag BI	Utslag HU
1	Intill uteluftsventil	Fullt	1/2
2	På golvet	Fullt	–
3	Intill vindsluckan	Fullt	–
4	Undersida av underlagstak	Fullt	–
5	Intill taklucka	Fullt	–
6	På vägg	Fullt	–
7	Undersida av underlagstak	Fullt	–
8	Undersida av underlagstak (vid mögel)	Fullt	Fullt
9	Undersida av underlagstak (vid mögel)	Fullt	Fullt
10	Intill uteluftsventil i taket	Fullt	Fullt
Logg	Intill uteluftsventil i taket (vid 10)	–	–

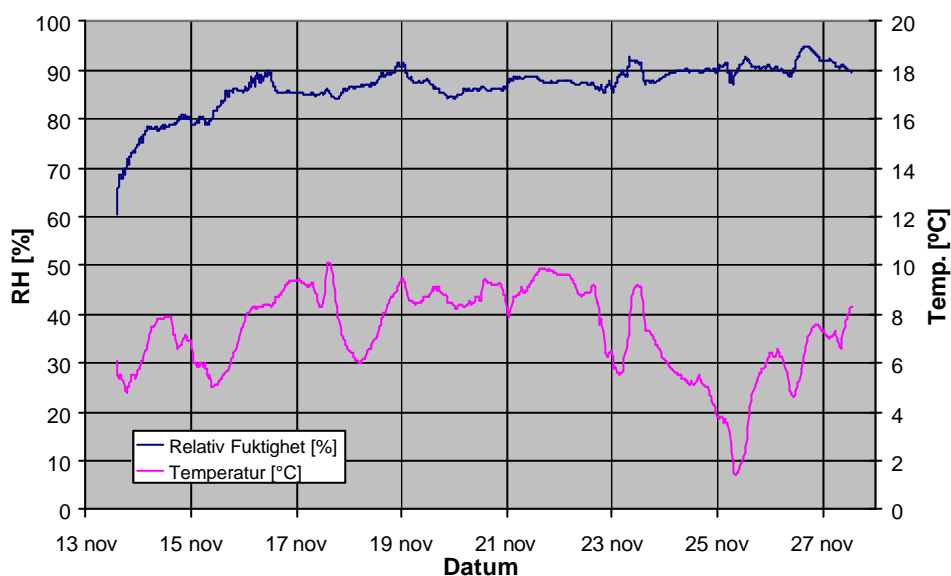
Loggern placerades i nära anslutning till en uteluftsventil i taket. Ett par indikatorer placerades också i anslutning till ventilen. Samtliga indikatorerna och loggern lästes av efter två veckor, se tabell 4 samt figur 85.



Figur 85 Indikatorer BI och HU placerade i par invid mögelskada. Indikator par nr 8 och 9 som alla visar fullt utslag efter två veckor.

Enligt loggade värden som redovisas i figur 86 har RF-nivån på vinden varit upp mot 90 % och däröver. Det verkar rimligt och riktigt att samtliga indikatorer av typen Probiks BI som har utslagsnivå 75 % RF har slagit ut.

Probiks HU nr 10 var placerad bredvid loggern. Indikatorn har en utslagsnivå 85 % RF och visade fullt utslag vid avläsningen efter två veckor.



Figur 86 RF och temperatur nära uteluftventil på kallvind. Värdena loggade under två veckors mätperiod november 2003.

10.2 Kallvind 2

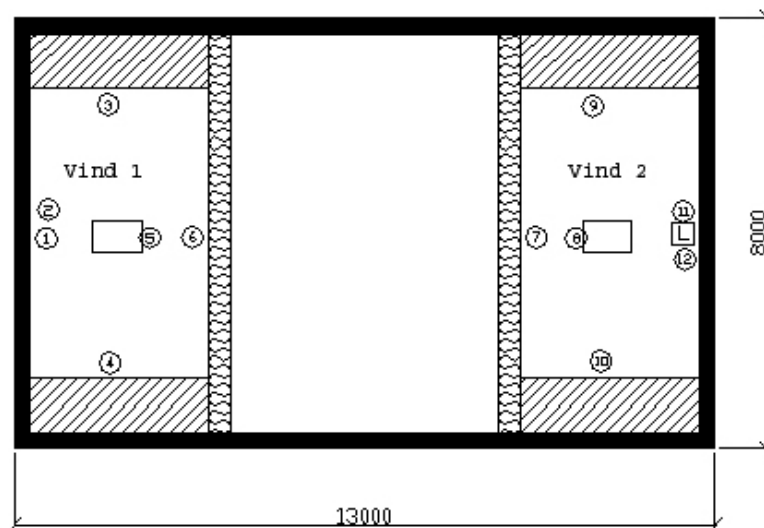
Den andra kallvinden som studerades hörde till ett friliggande tvåfamiljshus i två våningar beläget i västra Sverige, vindarea cirka $2 \times 18 \text{ m}^2$. Huset är byggt 1995.

Kallvinden är delad i två delar med mellanliggande uppvärmt bostadsutrymme. Större delen av vinden har fritt liggande isolering som täckts med papp. På vissa ställen har spånskivor placerats ut för att skapa lagringsutrymmen. Se figur 87 & 88.

På vind 1 finns fukt vid uteluftsventilen samt tendens till mögelangrepp på pappen. På vind 2 finns en betydande mängd fukt i anslutning till fönster samt mögel mellan papp och isolering.



Figur 87 Hus B i Hovås samt en bild på vindsfönstret.



Figur 88 Skiss av vindens utformning på hus B. Loggrar och indikatorernas placering finns markerade.

Tio stycken par av indikatorer BI och HU placerades på olika ställen på kallvinden tillsammans med en traditionell logger för RF och temperatur. Placeringarna framgår av figur 88 samt av tabell 5.

Tabell 5. Placering av mätare på kallvind, två familjshus byggt 1995.

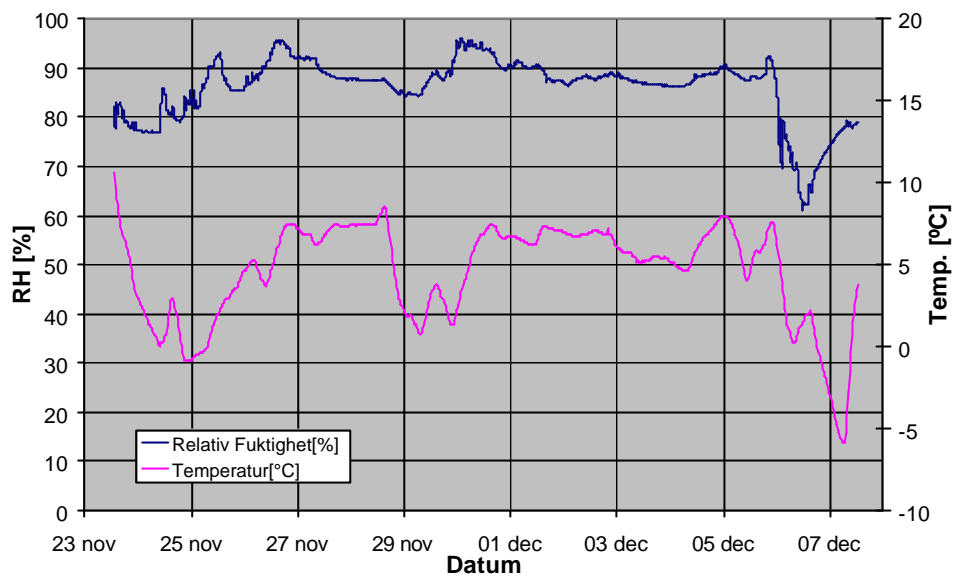
Nr	Placering	Utslag BI	Utslag HU
1	Vid golv under fönster	Fullt	Fullt
2	Intill uteluftsventil	Fullt	Fullt
3	Undersida av underlagstak	Fullt	Fullt
4	Undersida av underlagstak	Fullt	Fullt
5	Vid golv intill vindslucka	Fullt	Fullt
6	Intill luftspalt takhöjdnock	Fullt	Fullt
7	Intill luftspalt takhöjdnock	Fullt	Fullt
8	Vid golv intill vindslucka	Fullt	Fullt
9	Undersida av underlagstak	Fullt	Fullt
10	Undersida av underlagstak	Fullt	Fullt
11	Intill uteluftsventil	Fullt	Fullt
12	Vid golv under fönster	Fullt	Fullt
Logg	Intill uteluftsventil över fönstret (vid11)	–	–

Loggern placerades i nära anslutning till en uteluftsventil i taket. Ett par indikatorer placerades också i anslutning till ventilen. Samtliga indikatorerna och loggern lästes av efter två veckor, se tabell 5 samt figur 89.



Figur 89 Indikatorer BI och HU placerade i par på kallvind. Indikator par nr 10 och 11 som alla visar fullt utslag efter två veckor.

Enligt loggade värden som redovisas i figur 90 har RF-nivån på vinden varit över 85 % RF under i stort sett hela mätperioden. Det är rimligt att samtliga indikatorer av typen ProbiKs BI och HU med utslagsnivå på 75 respektive 85 % RF har slagit ut fullt, vilket också har skett enligt avläsningarna som redovisas i tabell 5.



Figur 90 RF och temperatur nära uteluftventil på kallvind. Värdena loggade under två veckors mätperiod november och december 2003.

11. Konklusion

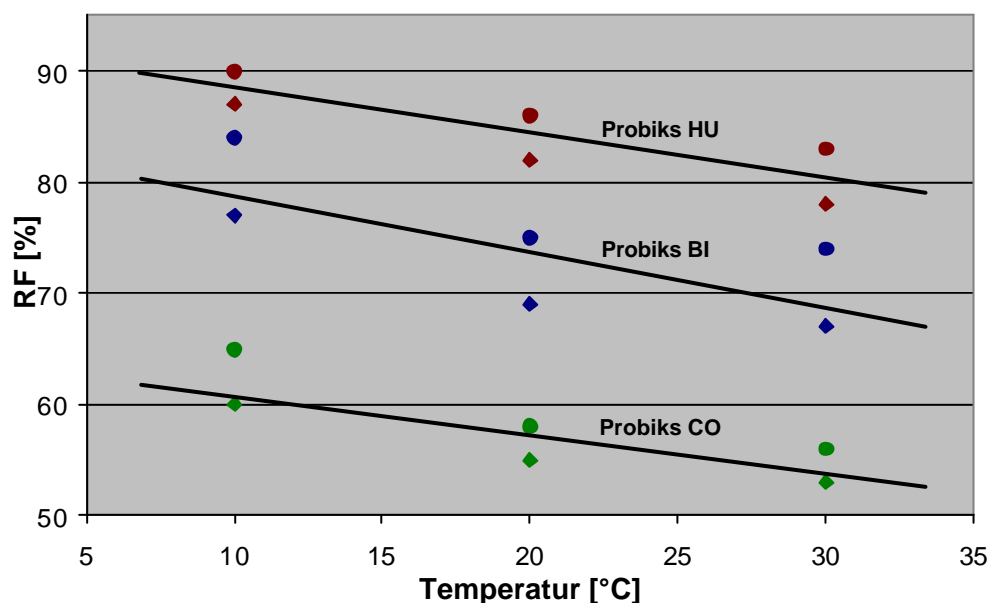
Här sammanfattas insikter som vunnits i projektet tillsammans med personliga omdömen och erfarenheter av Probiks fuktindikatorer. Bidragen kommer från en mängd personer som varit inblandade i projektet i olika sätt.

11.1 Utslagets tillförlitlighet

Utslagen hos två av de tre undersökta indikatorerna, Probiks BI samt HU, har genomgående funnits vara mycket pålitliga och stabila. Samtliga undersökta indikatorer av modellen BI och HU har alltid gett stabilt utslag vid den förutbestämda fuktnivån.

Indikatorerna bedöms även kunna visa det ackumulerade utslaget vid enstaka variationer av omgivningens RF omkring indikatorns utslagsnivå vid 20°C. Utslaget stannar när RF sjunker under utslagsnivån och fortsätter sedan när RF nivån återigen stiger över utslagsnivån. Det finns inget som tyder på att det ackumulerade utslaget inte skulle klara upprepade RF-cykler och vid andra temperaturer än 20°C.

Det finns ett svagt temperaturberoende hos indikatorerna. De uppvisar en något högre utslagsnivå med sjunkande temperatur. Även utslagshastigheten ändras något med temperaturen, så att utslaget sprider sig långsammare ju kallare omgivningen är. Temperaturberoendet för indikatorernas utslagsnivå har uppmätts till att vara i storleksordningen 10 % RF i intervallet från 10 till 30°C, se figur 91.



Figur 91 Temperaturberoende hos utslagsnivån för Probiks fuktindikatorer.

De uppmätta utslagsnivåerna överensstämmer med en undersökning utförd av SP (2003). I den undersökningen uppkommer utslaget hos Probiks HU i intervallet 83,5 – 85,5 % RF, Probiks BI i intervallet 74,5 – 76,5 % RF samt Probiks CO i intervallet 57,2 – 59,1 % RF. Samtliga mätningar vid SP är utförda vid 23°C, se bilaga 2.

Indikatorernas position, alltså åt vilket håll remsan pekar när de monterats på underlaget, spelar ingen som helst roll enligt denna undersökning. Krafterna som driver utslaget längst remsan är så stora att de inte påverkas märkbart av gravitationen enligt denna studie. Andra slumpvisa faktorer gjorde dock att det fanns en liten skillnad mellan utslagen i olika positioner, skillnaden var dock inte systematisk på något sätt.

Jämviktsfuktkurvorna visar på att indikatorerna tar upp en betydande mängd fukt i remsan i samband med omslagsnivån. Detta är en förutsättning för indikatorernas funktion och har nu även verifierats experimentellt. Resultatet blev som förväntat, dock med några mindre störningar hos indikator av typen CO.

Indikatorer av typen Probiks CO har i enstaka mätningar uppvisat oväntat beteende som avvikit något från det förväntade. Dock har precisionen i mätningarna varit för låg för att närmare analysera dessa fenomen. Avvikelserna har framförallt visat sig som omkastade grafer i figur 8 & 9 samt en inte entydig fuktjämviktskurva i figur 30 & 31.

Det bör dock tilläggas att indikatorn CO alltid slagit ut vid rätt fuktnivå i samtliga försök. Den har inte heller saknat utslag i något fall då den förväntats slå ut. Det är endast hastigheten hos utslaget i olika RF-nivåer som inbördes uppvisat oväntade relationer. Detta hindrar inte på något sätt indikatorn från att fungera fullgott i fält där uppgiften är att indikera om utslagsnivån 58 % RF överskrids eller ej.

På vissa remsor har utslagets färgfront inte varit helt jämn och skarp. Fenomenen är kända av Alfasensor AB som fingring och blomning. Företaget har sedan en tid styrt sin utveckling och kvalitetskontroll mot att minska dessa mindre defekter. Varken fingring eller blomning nedsätter indikatorns funktion att visa utslag vid den förutbestämda fuktnivån. Endast möjligheten att exakt läsa av hastigheten som utslagets sprider sig över remsan påverkas, efter det att utslaget uppkommit.

Ett annat problem som uppstod under projektets gång var förväxlingar av remsor på undersökningsindikatorer samt felmärkning av leveranser av komponenter. Detta kan sannolikt betraktas som isolerade händelser som uppstått i och med att olika komponenter plockats ut från den normala tillverkningslinjen. I normal serieproduktion av indikatorerna finns det fasta rutiner som omöjliggör förväxling och felmärkning.

11.2 Byggarbetsplatser

Bland samtliga inblandade på arbetsplatsen råder det en enighet om att indikatorerna har hjälpt till att få ett torrare och sundare bygge än vad som annars skulle ha varit möjligt. Främst har indikatorerna varit ett verktyg för att öka förståelsen och skapa ett engagemang för fuktfrågor på bygget. Samtidigt som de har varit nyfikna på om indikatorerna verkligen kan slå ut, om det är för fuktigt, har alla gjort sitt yttersta för att hålla bygget så torrt att de inte gör det.

I början av projektet identifierades ett stort antal platser där man kan ha nytta av att veta om RF överstiger en förvald nivå, för att öka säkerheten mot skada. Ofta handlar det om att kunna kontrollera klimatet på vissa platser så det är tillräckligt torrt för att inte skada en fukt känslig byggnadsdel.

Byggets kvalitetsansvarige som även ansvarade för indikatorernas placering anser att det är viktigt att inte bara mäta för mätandets egen skull. Bara för man har möjlighet skall man inte klistra indikatorer överallt. Det gäller istället att ha en tanke bakom var man sätter dem så man får ett resultat som kan utvärderas meningsfullt. Målet är ju att man skall kunna fatta kloka beslut på grundval av indikatorernas resultat.

Om man får utslag på någon indikator bör det finnas en viss beredskap om vad som då skall ske. Det kan vara så enkla åtgärder som att förbättra klimatet genom att ordna med byggvärme eller med en avfuktare. Upptäcker man däremot ett oväntat utslag vid mottagningskontroll av en träbalk kan det vara svårare att bedöma vilken åtgärd som är lämplig. Detta kan vara bra att ha avtalat med leverantören i förväg och allra helst kan indikatorerna ingå som en del i tillverkarens egna kvalitetskontroll.

I tidigare fältförsök, som ej redovisas här, lärde man sig att personer kan placera indikatorn på alla möjliga platser. Till och med på olämpliga platser som Alfasensor AB inte kunnat förutse på förhand. Bland annat hamnade indikatorer så att de utsattes för direkt regn. Något som de inte alls är avsedda att klara av vid den tidpunkten. När det regnar på en indikator kan hela färgutslaget tvättas ut, och i det aktuella fallet kunde man inte längre se någon färgfront på remsan. Idag kan man enkelt avgöra om en indikator varit översköld med vatten eftersom själva etiketten då missfärgas av färgen i ampullen.

11.3 Prefabricerade byggelement

I undersökningen har det visats att indikatorerna med fullgott resultat kan ersätta traditionella RF-logger under lagring och transport av prefabricerade byggelement. Fördelar med indikatorerna är framförallt att de är avsevärt billigare samt enklare att läsa av än loggrar.

Probiks svarar direkt på frågan om ett förutbestämd fuktnivå överskridits eller inte. Med en traditionell logger får man ofta en stor mängd svårtolkad information som i de flesta fall är alldeles onödig. Om fuktnivå överskridits går det med indikatorn även att avgöra om det var ett betydande övertramp eller bara ett marginellt övertamp under en kortare tid. Indikatorn kan även tala om ifall det förekommit fritt vatten på byggelementets yta under mätperioden.

Stöldbegärligheten av en indikator är betydligt lägre än för en traditionell logger. Ytterligare en fördel med indikatorn är att efter byggnadens färdigställande kan den sitta kvar som en framtida vakt för oönskad fuktbelastning. En logger måste däremot hämtas in och tömmas på data innan den kan användas på nytt.

Indikatorerna har i undersökningen visat sig fungera utmärkt på inplastade byggelement av trä. Med den placeringen kände indikatorerna samtidigt av trädets ursprungliga fuktnivå och fuktbelastningen från omgivningen. Det finns inget som talar mot att de skulle fungera lika bra på andra typer av byggelement. Indikatorerna kan väljas från en mängd olika fuktnivåer för att passa till övervakning av många olika kritiska händelser, se kapitel 2.

11.4 Befintliga byggnader

I alla undersökningar i befintliga byggnader visade det sig att indikatorerna med fullgott resultat kan ersätta en traditionell RF-logger. Fördelar med indikatorerna är återigen att de är avsevärt billigare än en logger och enklare att avläsa.

I befintliga byggnader används indikatorerna oftast för att bevaka fuktnivån i luften i en utsatt byggnadsdel. Det kan exempelvis vara en krypgrund eller en kallvind. Dessa byggnadsdelar riskerar ofta att under delar av året ha ett skadligt högt fuktillstånd.

Nästa steg som man också bör ha i åtanke är vad man göra om en indikator slår ut. Sannolikt bör de flesta husägare lyfta telefonluren och ringa en expert som kan lösa problemet åt dem. Lösningen kan ibland vara att minska ventilationen under delar av året eller ställa dit en avfuktare.

Tvärt om mot vad många tror är det sällan en bra lösning att generellt öka ventilationen, utan att först ta reda på vilken fuktkällan är. I krypgrunder och på kallvindar kan många gånger uteluften själv vara den dominerande fuktkällan. I så fall ökar fuktproblemet istället för att minska med ökande ventilationsgrad.

12. Referenser



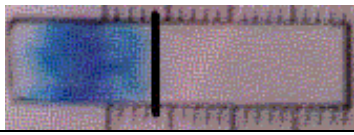
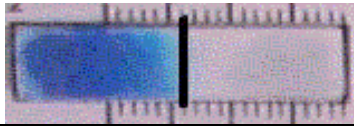
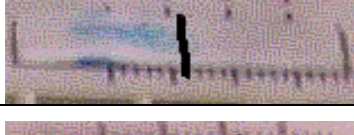
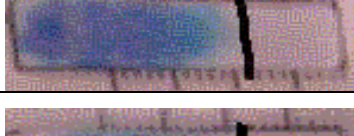



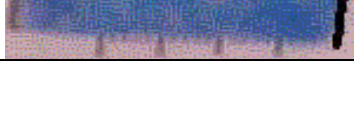
- Agrell, N. 2002. Mätning och analys av relativ fuktighet i kallvindar. Institutionen för Byggt teknik, Chalmers tekniska Högskola. Göteborg.
- Alexandrou, E. 2004. Utvärdering av tre typer av fuktdetektorer under kontrollerade förhållanden. Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. TVBM-5054. 45 sidor. www.byggnadsmaterial.lth.se/alfasensor.htm
- ASTM 1991, Standard Practice for maintaining humidity by means of aqueous solutions Designation E:104-85 pp 1-3
- Greenspan, L. "Humidity Fixed points of Binary Saturated Aqueous solutions J.ResNBS A1977, 81(1), 89-96
- Gustafsson, A., Hagman, T. 2002. Mätning och tolkning av relativ fuktighet i krypgrunder. Institutionen för Byggt teknik, Chalmers tekniska Högskola. Göteborg.
- Gustavsson, P., Nilsson, N. 2002, Affärsplan för Alfasensor. Institutionen för industriell dynamik, Chalmers tekniska högskola.
- Hajjari, M. 2002. Mätning och tolkning av relativ fuktighet i oisolerade och invändigt isolerade källare. Institutionen för Byggt teknik, Chalmers tekniska Högskola. Göteborg.
- Jansson, M., Skantze, G. 2004. Fuktproblematik i elektronikbranschen. Institutionen för kemiteknik, Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg.
- Pettersson, B., Skuflic, D. 2004. Alfasensor- fuktindikator för torrt byggande. Institutionen Ingenjörshögskolan, Högskolan i Borås. Nr 7/2004, 65 sidor. RBK, www.rbk.nu, Sveriges byggindustrier. Stockholm.
- Sjöberg, A. 1998. Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong med kapacitiva fuktgivare. Inst Byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. P-98:1. 60 sidor. www.bm.chalmers.se/research/publika/p981.htm
- Wadsö, L. 1995. A method to measure sorption isotherms. Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. 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.

Bilagor

- Bilaga 1 Avläsning av indikatorutslag
Bilaga 2 SP-rapport, P3 03570

Bilaga 1. Indikatorutslag

Redovisade skalvärden för indikatorns utslag enligt Alexandrou (2004)..
Observera att en del färgfronter i tabellen nedan uppvisar kända defekter
såsom fingring och blomning.

Utslag	Utslagets Intensitet	Skalvärde
	Stark	0
	Svag	0
	Stark	4
	Stark	6
	Svag	6
	Stark	11
	Svag	11
	Stark	18
	Svag	19
	Stark	19

REPORT

Alfasensor AB
Alf Andersen
Stena Center 1D
412 92 GÖTEBORG

Handläggare, enhet / *Handled by, department*

Stefan Almström
Chemistry and Materials Technology, kk

Datum / *Date*

2003-11-25

Beteckning / *Reference*

P3 03570

Sida / *Page*

1 (2)

Verification of humidity indicators

Assignment

Verification of humidity activation levels for Humidity Time Indicators type A, B and C from Alfasensor AB.

Test objects

Humidity Time Indicators from Alfasensor AB of type A, B and C. The humidity levels of activation of the indicators have, by Alfasensor AB, been measured to about 75 %RH, 85 %RH and 58 %RH respectively. The test was performed on ten indicators of each type from the following batches:

	Identification No	Batch No
A 75 %RH	10 00 00 10	75030502
B 85 %RH	10 00 00 17	85030502
C 58 %RH	10 00 00 03	58030502

The test objects arrived to SP the 6th of October, 2003.

Test procedure

The indicators were exposed in a Fisons climate chamber. The temperature and relative humidity was measured with a Vaisala HMI 38 with a Vaisala HMP 36E humidity probe. The equipment was calibrated at SP (calibration certificate F319577-4). According to Vaisala the accuracy of the measured humidity values are ± 1 %RH (nonlinearity and hysteresis). According to the calibration certificate, the uncertainty of measurement of the calibration is ± 0.83 %RH, ± 1.08 %RH and ± 1.22 %RH at 58 %RH, 75 %RH and 85 %RH respectively.

The temperature in all the exposures was 23 ± 0.3 °C. The samples were first exposed in a humidity level about 3 %RH under the, by Alfasensor, provided activation level for 24 hours. Thereafter the humidity was raised to about 1 %RH under the activation level for 24 hours. After these steps the indicators were examined for signs of activation. Finally the samples were exposed for another 24 hours at about 1 %RH over the activation level and then checked for a clear activation. Each time the humidity was raised the samples were kept in 50 %RH and 23 °C until the humidity level was settled in the climate chamber. The measured and used humidity levels are presented in the table below.

	A - 75 %RH *	B - 85 %RH *	C - 58 %RH *
3 %RH below	72.2 ±1.5 %RH	81.6 ±1.6 %RH	55.5 ±1.3 %RH
1 %RH below	74.5 ±1.5 %RH	83.5 ±1.6 %RH	57.2 ±1.3 %RH
1 %RH over	76.5 ±1.6 %RH	85.5 ±1.6 %RH	59.1 ±1.4 %RH

As the measured humidity in the chamber oscillates and the indicators only accumulate humidity over the activation level, only the highest measured humidity values were used for calculations. Those values are presented in this report. The uncertainty of the activation level of the humidity indicators has been increased because of this approximation. An uncertainty of 0.5 %RH, 1.0 %RH and 1.0 %RH has been added at 58 %RH, 75 %RH and 85 %RH respectively. This is based on the amplitude of the oscillation.

The exposures were carried out from October 13th, 2003 to November 11th, 2003.

Test results

All tested humidity sensors were activated in the correct humidity interval. The established activation levels are presented as these intervals in the table below. The uncertainties include the oscillation in the climate chamber. The results are valid at 23 °C.

Product type	Interval of activation *
A (75 %RH)	74.5 ±1.8 %RH – 76.5 ±1.9 %RH
B (85 %RH)	83.5 ±1.9 %RH – 85.5 ±1.9 %RH
C (58 %RH)	57.2 ±1.4 %RH – 59.1 ±1.5 %RH

* The reported uncertainty of measurement is an expanded uncertainty (U), based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor, k=2, which provides a level of confidence of approximately 95 %.

SP Swedish National Testing and Research Institute Surface Protection and Corrosion

Magnus Palm
Technical Manager

Stefan Almström
Technical Officer