



## **Trådlösa fuktsensorer inom byggindustrin**

**En fältstudie av två trådlösa system för fukt- och temperaturmätning**

Anders Sjöberg, LTH  
Jakob Blomgren, Imego  
Max Erlandsson, Imego  
Christian Johansson, Imego

ISRN: LUTVDG/TVBM--07/3139--SE (1-48)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola  
Byggnadsmaterial  
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415  
Fax: 046-2224427  
[www.byggnadsmaterial.lth.se](http://www.byggnadsmaterial.lth.se)

# Förord

Föreliggande rapport är en sammanställning och redovisning över projektet ”Trådlös Fuktmätning inom Byggindustrin, del II” med SBUF-projektnummer 11775.

Projektets förstudie och bakgrund redovisas i ”Fuktmätning med trådlösa sensorer inom byggindustrin”, Sjöberg & Blomgren (2004). SBUF-projektnummer 11460.

Rapporten är sammanställd av Imego AB, Institutet för Mikroelektronik i Göteborg i samarbete med avdelningen Byggnadsmaterial på Lunds Tekniska Högskola.

Projektgruppen har bestått av Anders Sjöberg, LTH Fuktcentrum i Lund, Mattias Gunnarsson, Munters Torkteknik samt Jakob Blomgren, Max Erlandsson, Christian Jonasson, Carl-Johan Sveningsson, Lars Landén och Torbjörn Pettersson, Imego AB.

I styrgruppen har ingått Christer Karström, NCC, Bengt Ström, NCC, Ted Rapp, RBK, Lars-Olof Nilsson, LTH, Britt Borgström, Sveriges Byggindustrier, Martin Eng, Munters Torkteknik och Göran Hedenblad, Boverket.

Projektet har finansierats av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond SBUF och Boverket. Medfinansiärer till projektet har genom sin egeninsats varit Sveriges Byggindustrier, NCC, RBK, Munters Torkteknik samt till viss del även Imego.

Alla medverkande partners tackas för sina insatser i ett trevligt och givande samarbete. Särskilt tack till Linus Pilebo, platschef på byggarbetsplatsen i Eklanda.

Göteborg maj 2007

Jakob Blomgren  
Imego AB

Lund maj 2007

Anders Sjöberg  
Avd Byggnadsmaterial  
Lunds Tekniska Högskola

# Innehållsförteckning

Bakgrund och läsanvisning .....	4
Sammanfattning .....	5
1 Förstudie.....	6
1.1 Behov och krav på fuktmätning .....	6
1.2 Förslag på trådlösa mätsystem .....	6
1.3 Rekommenderad fortsättning enligt förstudien .....	7
1.3.1 Handhållna lösningar.....	7
1.3.2 System för många mätpunkter .....	7
2 Magnetoelastiska sensorer.....	9
2.1 Funktion .....	9
2.2 Tillverkning och kalibrering av sensorer.....	10
3 Nätverkssensorer .....	12
3.1 Urvalskriterier .....	12
3.2 Sammanställning av mätresultat.....	12
3.3 Utförande av testen.....	13
3.3.1 Inledande kalibrering i fuktgenerator .....	13
3.3.2 Klimatbox, 75%RF vid 21°C.....	14
3.3.3 Alternerande klimat i fuktgenerator.....	14
3.3.4 Kalibrering vid tre temperaturer i fuktgenerator.....	14
3.3.5 Klimatbox, 86%RF vid 10°C.....	14
3.3.6 Alternerande klimat i fuktgenerator.....	14
3.3.7 Avslutande kalibrering i fuktgenerator .....	15
3.3.8 Kalibrering av Humi-Guard vid tre temperaturer i fuktgenerator.....	15
3.3.9 Fuktkapacitet .....	15
3.4 Kalibrering .....	16
4 Nätverksbygge.....	17
4.1 Trådlösa sensornätverk.....	17
4.1.1 Bluetooth .....	17
4.1.2 WiFi.....	17
4.1.3 ZigBee .....	17
4.2 Systemöversikt av sensornätverk .....	18
4.2.1 Sensornoder .....	20
4.2.2 Routernoder .....	21
4.2.3 Sinknod.....	22
4.2.4 Styrning och övervakning av nätverket .....	22
4.2.5 Datainsamling .....	22
4.2.6 Dataserver och Webbsida .....	23
5 Test på byggarbetsplats .....	24
5.1 Första mätobjektet, Eklanda 1 .....	25
5.2 Andra mätobjektet, Eklanda 2 .....	25
5.2.1 Sensornätverket .....	27
5.2.2 Sensorer i betongplatta .....	27
5.2.3 Sensorer i mellanvägg .....	29
5.2.4 Sensorer på vind .....	29
6 Mätresultat.....	31
6.1 Resultat från MER-sensorena .....	31
6.1.1 Mätning av RF i mellanvägg .....	31
6.1.2 Mätning av fukt i betongplatta.....	32
6.2 Resultat från det trådlösa sensornätverket.....	33
6.2.1 Mätning av uttorkningsklimat, bottenvåning.....	34
6.2.2 Mätning av fukt i betongplattan, Humi-Guard .....	34
6.2.3 Mätning av fukt i betongplatta, Sensirion.....	35
6.2.4 Mätning av RF i mellanvägg, Precon .....	36
6.2.5 Mätning av fuktkvot i syll.....	36
6.2.6 Mätning av uttorkningsklimat, kallvind.....	37

7	Tankar och erfarenheter från användarna på arbetsplatsen .....	38
7.1	Allmänt.....	38
7.2	Installation och stabilitet .....	38
7.3	Storlek, livslängd och räckvidd .....	39
7.4	Övervakning av klimat .....	39
7.5	Loggning av uttorkning av material .....	39
7.6	Fjärravläsning med webbpresentation .....	40
7.7	Ökad efterfrågan med nya krav i BBR .....	40
7.8	Önskade funktioner .....	40
7.9	Efterfrågan av fjärrloggning .....	41
8	Diskussion och Slutsatser.....	42
8.1	Mätutrustningen .....	42
8.1.1	MER-sensorer .....	42
8.1.2	Sensornätverket .....	42
8.2	Användningen .....	43
8.3	Framtida vision.....	44
9	Referenser .....	45

## Bilagor

Kalibreringskurvor

Kalibrering 30,50,70,90,95 %RF vid 20°C. 2006-05-08

Klimatbox (NaCl) 75 %RF vid 20°C. 2006-05-10

Alternerande 95/40 %RF vid 20°C. 2006-07-07

Kalibrering 50,75,85,95 %RF vid 15,20,25°C. 2006-07-21

Klimatbox (KCl) 86%RF vid 10°C. 2006-09-06

Alternerande 95/40 % RF vid 20°C. 2006-09-15

Kalibrering 75,85,90,95 %RF vid 20°C. 2006-09-18

Kalibrering Humi-Guard 75,85,90,95 %RF vid 15,20,25°C

## Bakgrund och läsanvisning

---

Byggbranschen liksom samhället i stort går mot en utveckling där trådlösa sensorer och loggade mätningar spelar en allt större roll. Flera aktörer tror att byggbranschen snart kommer hamna i ett läge där man vill utföra en stor mängd mätningar med trådlös teknik redan under byggskedet. Det finns idag RBK<sup>1</sup> -godkänd utrustning för loggade fuktmätningar i borrhål i betonggolv på byggarbetsplatser, den är dock ej trådlös. I praktiken är det dessutom redan ett krav med loggade mätningar av relativ fuktighet (RF) på uttagna betongprover när mätningarna utförs i labb enligt RBK.

Denna rapport beskriver utveckling, test och utvärdering av två olika system för trådlös mätning av fukt inom byggindustrin. Det första systemet, ”handhållen lösning”, är baserad på små, billiga och passiva, magnetoelastiska sensorer med lång livslängd. Sensorerna läses av med en handhållen avläsningsutrustning. Det andra systemet, ”trådlöst sensornätverk”, bygger på ZigBee-baserade sensornätverk. Med det systemet kan man med webbläsaren i en internetansluten dator i realtid överblicka klimat och uttorkningsförlopp på flera platser i en byggnad på stort avstånd.

I kapitel 1. Förstudie beskrivs resultatet av en tidigare utförd kartläggning av byggbranschens behov av trådlösa fuktmätningar. Studien mynnade ut i ett antal prioriterade mätsituationer som gav det aktuella studien dess innehåll och inriktning.

I kapitel 2. Magnetoelastiska sensorer beskrivs kortfattat tekniken bakom den enkla trådlösa fuktsensorn som används i den handhållna lösningen. Här beskrivs även hur sensorerna har kalibrerats inför testerna.

I kapitel 3. Nätverkssensorer beskrivs urval och tester av ett antal kommersiella fuktsensorer som lämpar sig för koppling till sensornätverk.

I kapitel 4. Nätverksbygge beskrivs utvecklingen av ett ZigBee-baserat sensornätverk. Här beskrivs även i korthet vad ZigBee innebär.

I kapitel 5. Test på byggarbetsplats beskrivs fälttesterna som utfördes. Avsnittet avhandlar vilka sensorer som användes och var de placerades.

I kapitel 6. Mätresultat diskuteras resultatet av de mätningar som utförts.

I kapitel 7. Tankar och erfarenheter från fältanvändarna sammanfattas utfallet av ett par intervjuer med erfarna fukttekniker. Intervjuerna behandlar behovet av trådlösa mätningar och krav på framtida system.

I kapitel 8. Diskussion och Slutsatser summeras vad studien åstadkommit och vad som återstår att göra. Här presenteras även en lista med prestandakrav på ett framtida trådlöst sensornätverk.

---

<sup>1</sup>Rådet för byggkompetens, Sveriges Byggindustrier. [www.rbk.nu](http://www.rbk.nu)

## Sammanfattning

---

Två olika system för trådlös mätning av fukt inom byggindustrin har utvecklats och testats. Inför testerna har prestanda utvärderats hos ett antal fuktsensorer som finns tillgängliga på marknaden.

Det första systemet, ”handhållen lösning”, är baserad på små, billiga och passiva magnetoelastiska sensorer (MER-sensorer) med lång livslängd och som kan byggas in i konstruktioner. Sensorerna avläses på plats med en handhållen avläsningsutrustning. Det andra systemet, ”trådlöst sensornätverk”, bygger på ett ZigBee-baserat sensornätverk. Med detta system kan man med hjälp av webbläsaren i en internetansluten dator överblicka klimat och uttorkningsförlopp i realtid på flera platser i en byggnad på distans.

Rapporten ger en bakgrund till vilka tekniker som använts och beskriver dessutom utvecklingen av de två systemen. Systemet med MER-sensorer har utvecklats av Imego i tidigare projekt. Inom ramen för denna studie har MER-sensorer anpassats och kalibrerats för att förbättra prestanda. Det trådlösa sensornätverket består av många komponenter som införskaffats separat. Detta innebär en omfattande teknisk utvecklingsarbete för att sammanfoga delarna till ett komplett fungerande mätsystem. I rapporten beskrivs det slutliga mätsystemet med sensornätverk som användes i fältmätningarna.

Mätsystemen har testats på en byggarbetsplats i parhus under uppförande. Syftet med mätningarna utförda med sensornätverket var att demonstrera möjligheterna med och nyttan av att samla in kontinuerliga mätdata under en längre tid för att kunna följa ett uttorkningsförlopp. Syftet med mätningarna med MER-sensorerna var att testa hur tekniken fungerade med avseende på räckvidd och prestanda ute i en verklig applikation. En avgränsning hos testerna var att de inte avsåg att mäta korrekta absolutnivåer, i detta skede. Det var alltså inte frågan om att genomföra en helt korrekt fuktmätning i byggnaderna. En sådan mätning ställer andra krav på bland annat kalibrering av sensorerna. De mätvärden som presenteras i rapporten skall endast ses som exempel på hur data kan samlas in och presenteras i ett framtida kalibrerat system.

Studien visar att det finns teknik idag som kan möjliggöra kontinuerlig övervakning av uttorkningsförlopp i flera punkter i en byggnad. Systemet som tagits fram demonstrerar vilken typ av information man kan få ut av kontinuerliga mätningar. Mätdata kan användas för dokumentation av att gällande gränsvärden inte överskrids och som prognosverktyg inför det fortsatta färdigställandet av byggnaden. Kontinuerliga mätningar minskar även risken för felaktiga mätvärden som beror på okända faktorer.

Utfallet av testerna med det handhållna systemet, den trådlösa MER-sensorn, var positivt. Överensstämmelse med de konventionella sensorerna var god och att räckvidden var fullt tillräcklig för att mäta på en syll, inne i en gipsvägg eller i ett borrhål i betong. Dock återstår en del utvecklingsarbete innan sensorn klarar av att leverera riktiga data i den krävande mätningen i ett betonggolv.

# 1 Förstudie

---

## 1.1 Behov och krav på fuktmätning

I ett tidigare SBUF-projekt om ”Fuktmätning med trådlösa sensorer inom byggindustrin” (ID:11460), av Sjöberg och Blomgren (2004) sammanställdes byggbranschens behov av att mäta fukt i byggobjekt och befintliga byggnader. Projektrapporten presenterar även en beskrivning av befintliga sensorer och nätverksteknik som kan användas för att täcka dessa behov genom trådlös mätning.

Projektet omfattade en inventering av behoven av fuktmätning för en byggnad, i två olika skeden. Byggskedet är den mest kritiska perioden ur fuktteknisk synvinkel. Många material och byggnadsdelar kan då tidvis vara blottade för regn och annan fuktpåverkan utifrån. Under bruksskedet utsätts en byggnad för olika typer av långvariga fuktbelastningar. Dels sådana som kan förutses under projekteringen, dels plötsliga och oförutsedda olyckshändelser och läckage som inte kan förutses.

Tre prioriterade mätsituationer identifierades:

Svåråtkomliga mätpunkter, ofta belägna inuti konstruktioner. Kravet är ett inbyggbart system som utan underhåll levererar mätvärden under lång tid.

Svåröverskådliga mätningar, t ex klimatet på olika platser i en byggnad. Kravet är ett system med central insamling och redovisning av mätvärden.

Precisa mätningar för bl.a. slutdokumentation mot kund. Kravet är hög tillförlitlighet, sannolikt krävs anpassning för olika mätsituationer.

## 1.2 Förslag på trådlösa mätsystem

Rapporten redovisar en omfattande inventering av de sensorer som finns på marknaden idag samt de nätverkslösningar som kan användas i ett system för trådlös fuktmätning.

Tre trådlösa system föreslogs för att matcha de prioriterade mätsituationerna. Systemen finns idag att köpa, kompletta eller som komponenter;

Nätverk av små driftsäkra sensorer med återsändare för att öka räckvidden samt central datainsamlingsenhet som kan anslutas till Internet eller GSM-modem. Fjärranslutning och central datalagring öppnar möjligheten för en person med specialistkunskap att övervaka flera byggen samtidigt.

Billiga sensorer med inbyggd kommunikation till ett handhållet instrument. Sensorerna kan byggas in på svåråtkomliga mätpunkter. Systemet kan användas för att detektera skillnader över ett område, t ex en ytterväggssyll där flera sensorer placeras. Speciellt lämpat för små byggprojekt.



System som bygger på mikrovågor uppvisar potential att kunna användas för indikering över stora områden. Sådana system klarar att detektera fuktiga områden samt fuktgradienter i konstruktioner.

Avslutningsvis tecknades en framtida vision för fuktmätning på byggarbetsplatsen där ett överskådligt system bevakar allting – samtidigt.

### **1.3 Rekommenderad fortsättning enligt förstudien**

Förstudien rekommenderar att man går vidare och utvärderar två olika typer av trådlösa mätsystem för fuktmätning på byggarbetsplatser.

#### **1.3.1 Handhållna lösningar**

Handhållna lösningar är främst inriktade mot små byggarbetsplatser med små resurser att lägga på fuktövervakning. Tekniken består huvudsakligen av små billiga och passiva sensorer med lång livslängd. Den passiva tekniken menas att sensorn inte behöver någon extra energiförsörjning i form av nätanslutning eller batteri.

Utrustningen lämpar sig för mätningar i ”ihåliga” konstruktioner som är enkla att komma nära. Exempelvis kan fukttillståndet på ovansidan av syllen inne i en utfackningsvägg kontrolleras. Förstudien föreslog att ett antal sensorer monteras i utfackningsväggar och på andra intressanta platser där det är möjligt på en byggarbetsplats.

Sensorerna läses av med en tids mellanrum. Samtidigt med avläsningen mäts fuktnivån med traditionella metoder. Mätsystemets prestanda i fält utvärderas och dokumenteras tillsammans med arbetsplatsens synpunkter och erfarenheter.

#### **1.3.2 System för många mätpunkter**

System för många mätpunkter är främst lämpat för stora, komplexa byggarbetsplatser där en speciell Fuktsäkerhetsansvarig är utsedd.

Systemet består i huvudsak av ett nätverk av små, pålitliga och driftsäkra sensorer, ett antal återsändare för att öka räckvidden samt en centralt placerad enhet för datainsamling. Datainsamlingspunkten ansluts till Internet eller GSM-modem för fjärranslutning och central datalagring. Detta öppnar möjligheten för en person med specialistkunskap att övervaka stora arbetsplatser eller flera olika byggen samtidigt.

Utrustningen lämpar sig för mätningar av uttorkningsklimatet på byggarbetsplatsen, i fuktkänsliga konstruktioner samt i material med byggfukt. Exempelvis kan uttorkningen av byggfukt följas i detalj med kvarsittande givare på olika nivåer i ett betongbjälklag.

Lämpliga mätsystem med rätt prestanda finns inte att köpa färdiga idag. I projektet testas därför först driftsäkerheten och prestanda för några av de mest lovande fuktsensorerna som identifierats i Sjöberg och Blomgren (2004). Detta sker genom att

utsätta sensorerna för extrema miljöer under kontrollerade former i laboratoriet. Den mest lämpliga sensorn byggs sedan ihop med den mest lovande nätverkslösning som identifierats i Sjöberg och Blomgren (2004), till ett komplett mätsystem.

En typ av mätpunkt i systemet utformas så att den kan monteras på det karakteristiska mät djupet i en nygjuten härdad betongkonstruktion. Utformningen skall vara sådan att problemet med temperaturvariationernas inverkan på mätresultaten minimeras i största möjliga utsträckning. Det är önskvärt att mätpunkten skall kunna sitta kvar och leverera mätvärden även efter att i golvkonstruktionen avjämnats och belagts med sitt slutliga ytskikt.

Systemet utformas så att det även är anpassat för kontroll av uttorkning av fuktskada efter ett läckage eller liknande. Utöver mätpunkten i konstruktionen kan exempelvis torkklimatet samt annan utrustning som exempelvis luftvärmare och avfuktare övervakas. På så sätt kan uttorkningen samt utrustningens prestanda följas på distans.

Mätsystemet monteras därefter på 2-3 byggarbetsplatser där det kopplas till en fjärranslutning av typen Internet eller GSM-modem för central datalagring. Mätvärdespresentation i realtid sker via Internet.

Parallellt med det trådlösa systemet sker mätningar av fuktnivån med traditionella metoder. Mätsystemets prestanda i fält utvärderas och dokumenteras tillsammans med arbetsplatsens synpunkter och erfarenheter.

## 2 Magnetoelastiska sensorer

Inom ramen för denna studie har ett system för trådlös fuktmätning med ett handhållet instrument utvärderats. Tekniken bygger på magnetoelastisk resonans (MER) och har under flera år utvecklats på Imego tillsammans med externa parter.

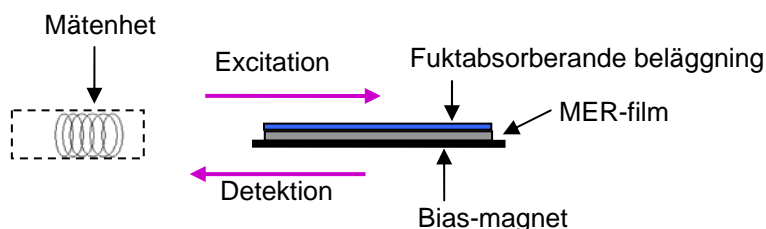
Systemet utgörs av en passiv sensor som placeras vid mätpunkten samt en handhållen utläsningsenhet för uppmätning av sensorvärdet. Det trådlösa fuktdetektionssystemet kan användas för fuktmätning på svåråtkomliga platser som till exempel inuti väggar, golv och i andra ihåliga och förslutna konstruktioner.



Figur 1. Trådlös fuktmätning genom en platta av betong. Den magnetoelastiska sensorn läses av med en handhållen detektionsenhet.

### 2.1 Funktion

Huvudkomponenten i sensorsystemet består av en tunn magnetoelastisk metallfilm som prepareras på ytan för att bli känslig för olika fysikaliska storheter. I fallet med fuktdetektering har sensorfilmerna belagts med en fuktabsorberande beläggning som reagerar på mängden fukt i omgivande luft. I en fuktig miljö kommer beläggningen att absorbera mer fukt vilket gör den tyngre och ändrar därmed dess sensors resonansfrekvens. Motsvarande sker då sensorn placeras i torr miljö, beläggning släpper ifrån sig fukt och blir lättare vilket kan läsas av via sensorns relativt sett högre resonansfrekvens.



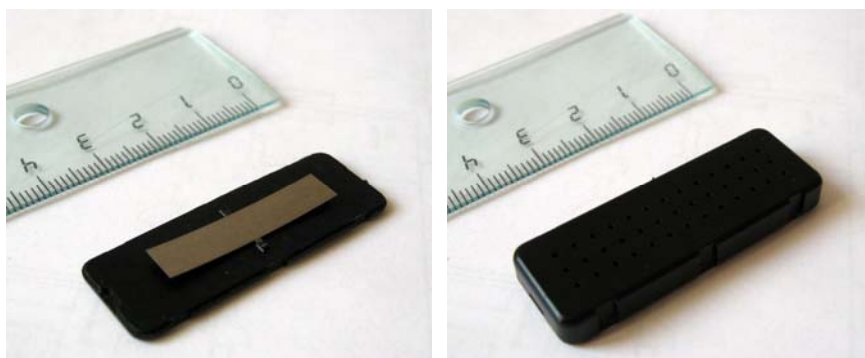
Figur 2. Principskiss som visar det trådlösa sensorsystemet innehållande en mätenhet och en passiv sensor. Sensorn består av en liten magnetoelastisk metallfilm med en fuktabsorberande beläggning.

Avläsningen av sensorerna görs med hjälp av en handhållen detektionsenhet. Enheten skickar ut en magnetisk puls som får den magnetoelastiska filmen att svänga (vibrera) med en viss karakteristisk resonansfrekvens. Då sensorfilmen svänger skickar den i sin tur ut en magnetisk signal med motsvarande frekvens vilket kan detekteras med samma detektionsenhet. Den frekvens som sensorfilmen svänger med talar om sensorns status, exempelvis hur mycket fukt dess beläggning har absorberat vilket ger ett värde på den relativa fuktigheten i den omgivande luften. Med det använda systemet kan sensorn avläsas på ca 40 cm avstånd.

En av de stora fördelarna med magnetoelastiska sensorer är att de är passiva, dvs. inga batterier eller annan energiförsörjning krävs. Det som begränsar livslängden på passiva sensorer är tidsberoende förändringar hos materialen de är gjorda av. Sannolikt kan passiva sensorer fungera felfritt i många decennier om de inte placeras i en aggressiv miljö. Dessa sensorer kan dessutom göras mycket billiga, tillverkningskostnaden för stora volymer beräknas ligga runt några kronor styck.

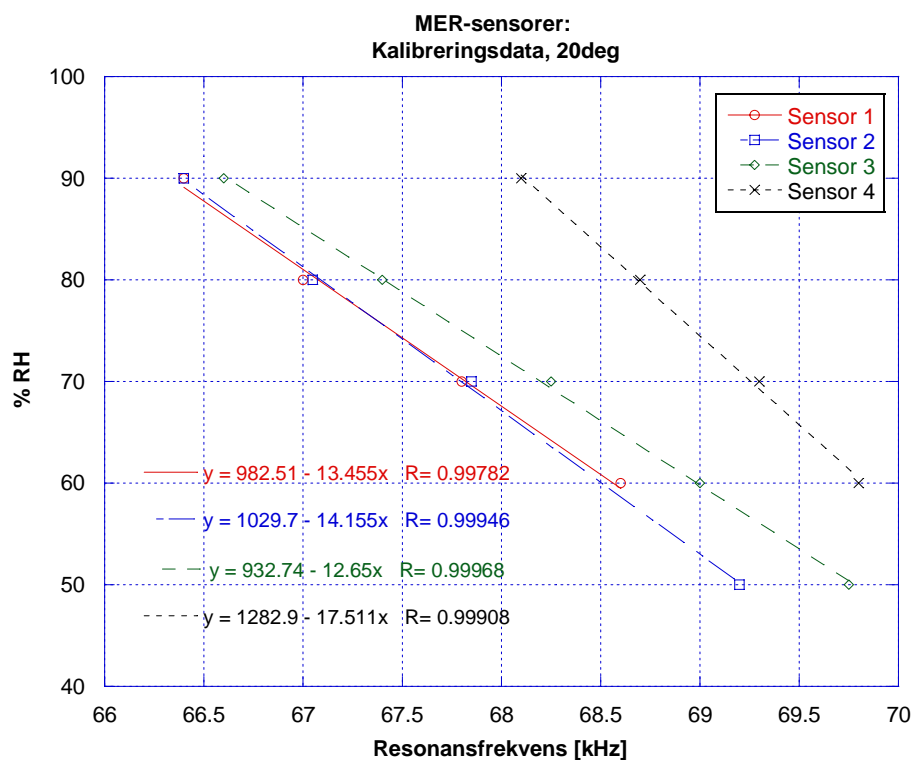
## 2.2 Tillverkning och kalibrering av sensorer

Den magnetoelastiska filmen som utgör själva sensorn i MER-systemet är tillverkad av en metallegering med goda magnetostriktiva egenskaper. Detta möjliggör att filmen fungerar som en magnetomekanisk resonator vilket utnyttjas i sensorsystemet. Materialet till sensorfilmerna finns att tillgå på marknaden och behöver bara klippas till önskade dimensioner. Filmerna har därefter belagts med en fuktabsorberande polymerbeläggning på ena sidan, vilket gör dem känsliga för fukt. Den belagda sensorfilmen har paketerats i en plastkapsel som släpper igenom fukt i luften men skyddar filmen mot fritt vatten och mekanisk åverkan. Under kapseln sitter en permanentmagnet för att sensorn ska få rätt magnetiska egenskaper.



Figur 3. MER-sensor med tillhörande skyddskapsel. Storleken på kapsel med lock är ca 45x15x5 mm.

Kalibrering av de magnetoelastiska sensorerna har genomförts på Imego i klimatkammare, av fabrikatet Vötsch VCL6010, där fukt och temperatur kan varieras på ett kontrollerbart sätt. Kalibreringen utfördes, i intervallet 20-95 % RH och 5-30°C, genom att sensorns resonansfrekvens mättes kontinuerligt.



Figur 4. Kalibreringsmätningar för de MER-sensorer som använts i denna studie har genomförts i klimatkammar på Imego. I figuren visas en mätning mellan 50-95 % RH vid 20°C.

## 3 Nätverkssensorer

---

### 3.1 Urvalskriterier

Sensorer som skall byggas in i ett sensornätverk skall uppfylla några få och enkla krav. Dels skall de vara lämpliga att bygga in i ett nätverk, i praktiken innebär det att de skall vara ganska små, energisnåla och antingen digitala eller baseras på mätning av en analog elektrisk spänning, ström eller impedans. De ska även anses vara lovande utifrån tidigare erfarenheter.

De två sensorerna som ansågs mest lovande i förstudien togs därför med i denna utvärdering. Det var sensorerna från Sensirion och Precon.

De övriga två sensorerna i denna utvärdering togs med för att det fanns en stor och positiv erfarenhet av dem från tidigare studier. Sensorer från Honeywell har använts i flertalet studier vid LTH där man behövt en liten och tillförlitlig sensor. Sensorer från Humi-Guard används fortlöpande i studier vid LTH för att mäta uttorkningsförlopp i betong, främst i fält.

I denna studie användes även stift till en så kallad hammarelektrod som kopplades till en sensornod för bestämning av fuktkvoten i trä. Kalibreringskurvor för fuktkvotsmätning är tidigare framtagna av bland andra Forsén *et al* (2002).

### 3.2 Sammanställning av mätresultat

I tabell 1 finns en sammanställning av de utvärderade egenskaperna hos RF-sensorerna som ingått i denna studie. Värdet på de olika storheterna drift, temperaturberoende, hysteres, fuktkapacitet och temperaturavvikelse är utvärderade från mätningarna som presenteras i Tabell 2 - Tabell 5.

Utifrån mätresultaten valdes det att inte gå vidare med Honeywell. Denna givare stack inte ut speciellt men hade konstant bland de sämsta värdena i mätningarna.

Tabell 1. Sammanställning av uppmätta egenskaper hos de undersökta sensorerna.

Storhet	Enhet		Honeywell	Precon	Sensir-ion	Humi-Guard
Drift	10-3 %RF/dygn	Medel	+5,3	+1,7	+5,3	–
		Std av	±2,8	±1,7	±3,1	–
Temperaturberoende	%RF/°C	Medel	-0,12	+0,06	+0,08	+0,14
		Std av	±0,10	±0,10	±0,10	±0,01
Hysteres	%RF	Medel	+0,93	+0,44	+0,63	–
		Std av	±0,37	±0,28	±0,32	–
Fuktkapacitet	mg	direkt	0,03	< 0,01	0,07	0,30
	75 – 95 %RF	mg/60h*	långsam	0,11	0,02	0,05
Temperaturavvikelse	°C	Medel	-0,06	-0,01	+0,05	+0,09
		Std av	±0,02	±0,05	±0,02	±0,01

\*Sannolikt uppkommer den långsamma fuktkapaciteten genom fuktupptagning i kretskorten som sensorerna sitter monterade på.

Drift, temperaturberoende och hysteres hos sensorerna av fabriken Honeywell, Precon och Sensirion är utvärderad från kalibreringsvärden som sammanställs i Tabell 3- Tabell 5.

Temperaturavvikelse hos ovanstående sensorer är utvärderade från kalibreringen som påbörjades 2006-07-21.

Temperaturberoendet och temperaturavvikelser hos Humi-Guard G2 (de nya kapslade sensorerna) är utvärderade från kalibreringen 2006-09-25.

Sensorernas fuktkapacitet (i intervallet 75 – 95 %RF) är uppmätt i en sorptionsvåg.

### 3.3 Utförande av testen

Driftsäkerhet och prestanda hos elektriska RF-sensorer från Honeywell, Precon och Sensirion har studerats. Några relevanta egenskaperna har avslutningsvis även bestämts för Humi-Guardsensorer.

#### 3.3.1 Inledande kalibrering i fuktgenerator

Studien inleddes genom att en Sensirionsensor, en Preconsensor samt fyra Honeywellsensorer kalibrerades i fem olika RF-nivåer (30, 50, 70, 90 och 95 %RF) vid 20°C i en fuktgenerator av fabriken Thunder Scientific 2500. Kalibreringen utfördes genom att samtliga sensorer placerades inne i fuktgeneratorns kammare och anslöts med kabel till en dator som kontinuerligt loggade mätvärdena. Jämviktsvärden för varje nivå visas i Tabell 3- Tabell 5.



### **3.3.2 Klimatbox, 75%RF vid 21°C**

De sex sensorerna placerades därefter i en klimatbox där temperaturen styrdes av temperatur i labblokalen  $21\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  och fuktnivån styrdes av en mättas saltlösning. Den mättade saltlösningen som användes var NaCl som genererar en fuktnivå på 74,5%RF i luften som den står i kontakt med.

Under hela försöket som varade ungefär sex vilade sensorerna på ett stålnät ungefär 5 cm ovanför saltlösningens vätskeyta. Temperatur och RF loggades kontinuerligt. En energisnål datorfläkt skapade fullständig omblandning av luften i klimatboxen.

### **3.3.3 Alternerande klimat i fuktgenerator**

Sensorerna placerades återigen i fuktgeneratorn på samma sätt som tidigare. Denna gång ställdes fuktgeneratorn in på att alternera extrema, men inte orimliga klimat för sensorerna som loggades hela tiden.

Mätningen startade med en genererad fuktnivå på 95 % RF i sex timmar och därefter 40 %RF i sex timmer, därefter upprepades cykeln fem gånger. Hela mätningen utfördes vid  $20\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .

### **3.3.4 Kalibrering vid tre temperaturer i fuktgenerator**

Därefter kalibrerades sensorerna igen för att bestämma drift och annan påverkan av de extrema klimaten de utsatts för. Kalibreringen utfördes vid fyra fuktnivåer (50, 75, 85 och 95 % RF) och tre temperaturnivåer (15, 20 och  $25^{\circ}\text{C}$ ).

Denna kalibrering låg även till grund för utvärderingen av sensorernas temperaturberoende.

### **3.3.5 Klimatbox, 86%RF vid 10°C**

De sex sensorerna placerades återigen i temperaturen på samma sätt som tidigare. Boxen placerades i ett kylskåp med temperaturen  $9,5\pm 1,0^{\circ}\text{C}$  och fuktnivån styrdes av en mättas saltlösning av KCL. Den mättade saltlösningen genererar en fuktnivå på 86,8 % RF vid  $10^{\circ}\text{C}$ . Temperatur och RF loggades kontinuerligt.

### **3.3.6 Alternerande klimat i fuktgenerator**

Sensorerna placerades återigen i fuktgeneratorn med alternerande klimat på samma sätt som tidigare. Cykeln upprepades tre gånger medan temperatur och RF loggades kontinuerligt under hela mätningen.



### 3.3.7 Avslutande kalibrering i fuktgenerator

Avslutningsvis gjordes en kalibrering vid fyra fuktnivåer (50, 75, 85 och 95 % RF) vid 20°C. Kalibreringen utgjorde underlag för att bestämma inverkan av drift och annan påverkan av de extrema klimaten som sensorerna utsatts för.

### 3.3.8 Kalibrering av Humi-Guard vid tre temperaturer i fuktgenerator

Fyra stycken Humi-Guard av den nya kapslade modellen kalibrerades vid ett separat tillfälle. Kalibreringen utfördes vid fyra fuktnivåer (76, 85, 90 och 95 % RF) och tre temperaturnivåer (15, 20 och 25°C).

Anledningen till att 76 % RF valdes som lägsta nivå var att 75 % RF uppgavs vara den lägsta fuktighet som sensorerna är stabila vid. Och om någon sensor skulle visa för lågt värde (under 75 % RF) uppgavs det att beräkningsalgoritmen inte kunde omvandla det avlästa mätvärdet ( $\mu\text{S}$ ) till RF.

Denna kalibrering ligger till grund för bestämningen av det temperaturberoende och de temperaturavvikelser som anges i tabell 1.

*Tabell 2. Tidschema för kalibreringar i fuktgenerator och mätningar klimatboxar.*

Start	Slut	Aktivitet	Sensor
2006-05-08	2006-05-10	Kalibrering 30,50,70,90,95 %RF vid 20°C	F,H,P,S
2006-05-10	2006-06-22	Klimatbox (NaCl) 75 %RF vid 20°C,	H,P,S
2006-07-07	2006-07-10	Alternerande 95/40 %RF vid 20°C	H,P,S
2006-07-21	2006-07-30	Kalibrering 50,75,85,95 %RF vid 15,20,25°C	F,H,P,S
2006-09-06	2006-09-15	Klimatbox (KCl) 86 %RF vid 10°C	H,P,S
2006-09-15	2006-09-18	Alternerande 95/40 %RF vid 20°C	F,H,P,S
2006-09-18	2006-09-19	Kalibrering 75,85,90,95 %RF vid 20°C	F,H,P,S
2006-09-25	2006-09-28	Kalibrering HG 76,85,90,95 %RF vid 15,20,25°C	F,HG

F=fuktgenerator, H=Honeywell, HG=Humi-Guard, P=Precon, S=Sensirion

### 3.3.9 Fuktkapacitet

Fuktkapaciteten för samtliga sensorer bestämdes i intervallet 75 – 95 % RF genom mätningar i sorptionsvåg av modellen DVS advantage.

Sensorerna monterades på en känslig balansvåg i mätutrustningen och konditionerad luft strömmade förbi till fuktnivåerna kom till jämvikt. Därefter ändrades fuktnivån i den strömmande luften och nytt jämviktstillstånd inväntades. Viktförändringen registrerades kontinuerligt under hela mätningen.

Intervallet 75 – 95 % RF har valts eftersom det omfattar det viktiga området för fuktmätning i byggnader. De flesta kritiska värden för byggnadsmaterial ligger i den storleksordningen, exempelvis beständighet hos limmade golvbeläggningar 85 eller 90%RF, mikrobiell påväxt hos trä eller andra nedsmutsade ytor 75%RF.

### 3.4 Kalibrering

I Tabell 3 - Tabell 5 sammanställs uppmätta värden i samband med de tre kalibreringarna som utförts på sensorerna av fabrikaten Honeywell, Precon och Sensirion.

*Tabell 3. Resultat från upprepade kalibreringar av fyra Honeywell-sensorer. Endast ett medelvärde presenteras.*

Datum	8/5	9/5	21/7	22/7	23/7	24/7	25/7	26/7	18/9
Temp	20°C	20°C	20°C	20°C	15°C	15°C	25°C	25°C	20°C
	Ads	Ads	Ads	Des	Ads	Des	Ads	Des	Ads
95	103,2	–	103,7	–	104,5	–	103,5	–	104,6
90	97,3	97,2	–	–	–	–	–	–	99,5
85	–	–	92,6	93,4	93,8	94,3	92,2	93,2	93,9
75	–	–	81,3	83,0	82,9	83,9	81,5	82,5	83,6
70	75,2	75,6	–	–	–	–	–	–	–
50	54,0	53,3	54,5	55,5	55,3	56,3	54,7	55,1	–
30	–	32,1	–	–	–	–	–	–	–

*Tabell 4. Resultat från kalibreringar av en Preconsensor.*

Datum	8/5	9/5	21/7	22/7	23/7	24/7	25/7	26/7	18/9
Temp	20°C	20°C	20°C	20°C	15°C	15°C	25°C	25°C	20°C
	Ads	Ads	Ads	Des	Ads	Des	Ads	Des	Ads
95	91,1	–	90,8	–	90,7	–	92,0	–	91,4
90	85,4	84,9	–	–	–	–	–	–	85,5
85	–	–	79,2	79,4	79,0	79,3	80,2	80,1	79,5
75	–	–	68,4	69,0	68,1	68,7	68,8	69,5	69,0
70	62,0	61,5	–	–	–	–	–	–	–
50	42,1	42,3	42,9	43,3	43,3	44,1	43,3	43,8	–
30	–	23,8	–	–	–	–	–	–	–

*Tabell 5. Resultat från kalibreringar av en Sensirionsensor.*

Datum	8/5	9/5	21/7	22/7	23/7	24/7	25/7	26/7	18/9
Temp	20°C	20°C	20°C	20°C	15°C	15°C	25°C	25°C	20°C
	Ads	Ads	Ads	Des	Ads	Des	Ads	Des	Ads
95	92,9	–	92,9	–	92,3	–	93,6	–	94,1
90	88,2	88,0	–	–	–	–	–	–	89,7
85	–	–	84,2	84,9	83,9	84,2	85	85,6	85,2
75	–	–	74,8	76,0	75,0	75,9	76,1	76,8	76,0
70	69,9	68,9	–	–	–	–	–	–	–
50	48,9	48,6	50,8	51,5	51,2	51,7	51,4	51,5	–
30	–	29,5	–	–	–	–	–	–	–

## 4 Nätverksbygge

---

Det trådlösa sensornätverket som användes i studien består av många komponenter och delsystem som införskaffats separat. Sammanfogandet av sensornätverket och det erforderliga tekniska utvecklingsarbetet för att anpassa systemet till mätsituationen på byggarbetsplatser gjordes på Imego. I kapitlet beskrivs det slutliga mätsystemet som användes i fältmätningarna, Eklanda 2.

### 4.1 Trådlösa sensornätverk

Trådlösa sensornätverk är en sammanfattande term för alla typer av trådlösa nätverk med sensorer i. Sensorerna kan vara av olika slag såsom fukt-, temperatur- magnet- eller ljussensorer. Det finns egentligen ingen begränsning av hur många olika typer av sensorer som går att koppla in i ett och samma nätverk, det går även att koppla in flera sensorer till samma nätverkspunkt.

Det finns många olika tekniker för trådlösa nätverken. Vilken teknik som används styrs i hög grad av tillämpningen eftersom systemen har olika fördelar, exempelvis räckvidd och benägenhet att störa andra komponenter.

Det finns ett stort antal olika standarder för trådlösa nätverk, Bluetooth, WiFi, och ZigBee är några av de vanligaste.

#### 4.1.1 Bluetooth

Standarden Bluetooth är väl etablerad och har få barnsjukdomar kvar. Den är den anpassad för datortillbehör och lämpar sig inte för sensornätverk. Bland annat kan nämnas att räckvidden är starkt begränsad, strömförbrukningen är hög och anslutningstiderna är långa.

#### 4.1.2 WiFi

Standarden WiFi är mer moget nätverksmässigt. Dock ställer den speciella krav på mjuk- och hårdvara för att bilda ett robust system. Detta gör att tekniken är komplicerad att implementera på ett strömsnålt sätt.

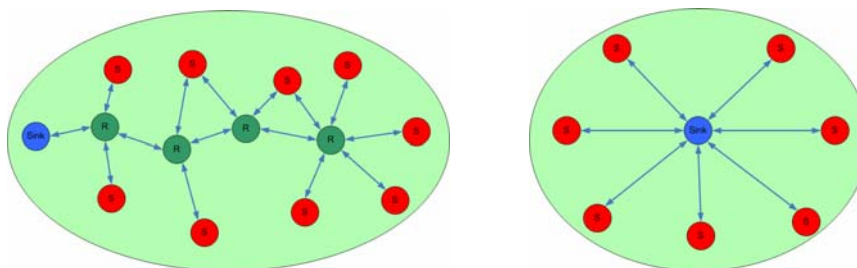
#### 4.1.3 ZigBee

Standarden ZigBee har tagits fram i syfte att skapa strömsnåla och billiga noder i snabba nätverk. Tekniken etableras i takt med att allt fler företag implementerar ZigBee-lösningar för nätverkskommunikation

Den första versionen av ZigBee-standarderna publicerades i december 2004 och baseras på IEEE 802.15.4 som bl.a. utnyttjar det fria 2.4 GHz ISM-frekvensbandet.

Modulationstekniken Direct-Sequence Spread Spectrum (DSSS) som ZigBee använder vid signalöverföringen är robust mot brus men signalerna i ISM-frekvensbandet har dåliga igenomträngnings-egenskaper.

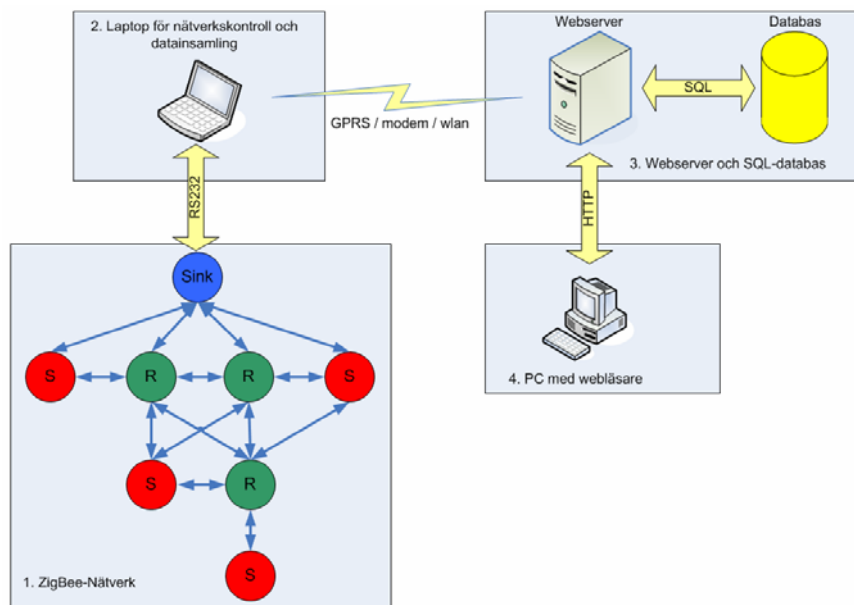
En stor fördel med ZigBee-standarden är dess flexibilitet i fråga om vilka nätverksstrukturer som kan användas. Många nätverk är konstruerade så att alla noder kommunicerar med en sinknod i ett så kallat stjärnnätverk, som även kan innehålla s k routers (kallas ibland repeater) vilka fungerar som mellansteg mellan datanod och sinknod för att öka räckvidden. ZigBee tillhandahåller även ett annat alternativ, så kallade Mesh-nätverk. I dessa kan noderna kommunicera med varandra vilket gör systemet redundant eftersom informationen kan skickas en annan väg om en router skulle försvinna från nätverket. Figur 5 visar skillnaden mellan de två nätverkstopologierna



Figur 5. Mesh- och stjärnnätverksstruktur.

## 4.2 Systemöversikt av sensornätverk

Huvudsyftet med studien var att undersöka hur ett trådlöst nätverk kan förbättra fuktmätningar vid nybyggnationer och systemet byggdes för detta ändamål om än med en ganska generell plattform så att valet av sensortyp inte var kritiskt. Nedan visas i figure 6 hur systemet är uppbyggt. Därefter följer kapitel där delarna beskrivs mer detaljerat.



Figur 6. Översiktsbild av systemet. Nederst till vänster syns sensornoderna som via routernoder kommunicerar med en sinknod kopplad till en dator (överst till vänster). Denna dator skickar i sin tur bearbetad data, exempelvis genom internet, till en webserver som administrerar webbsidan (överst till höger). Utomstående datorer kan komma åt webbsidan genom internet (HTTP).

Delruta 1 visar en översiktsbild av hur de olika nodtyperna i nätverket samverkar. Det finns tre olika typer av noder vars funktion skiljer sig åt.

Sensornoder är batteridrivna och innehåller anslutningar till själva sensorn. Dessa noder skickar iväg sina mätdata en gång per timme.

Routernoder är nätmatade noder som förlänger räckvidden i nätverket och skapar redundans i systemet

Sinknoden kommunicerar med en dator och är ett slags nav i nätverket. Den bör alltid finnas tillgänglig och försörjs därför vanligen av nätspänning. Sensornoderna skickar sin data till sinknoden.

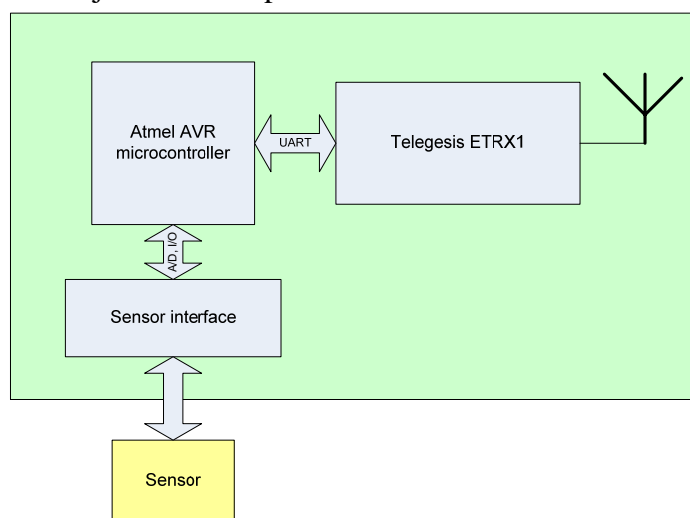
Sensordata skickas trådburet (RS232 är en standard för seriekabelöverföring) från sinknoden till datorn (delruta 3), som i fälttesten placerades i byggarbetsplatsens kontor. Ett datorprogram på denna dator samlar in samt sparar data och har möjlighet att rita grafer.

Huvuddatorn är i sin tur kopplad till internet, i fälttesterna genom NCCs lina vilket tillät vår dator att skicka data medan brandväggar hindrade fjärrstyrning av datorn utifrån. Data skickas till en webserver vilken uppdaterar temperatur- och fuktgrafer på en hemsida som internetanvändare kan komma åt. I fält- och labbtesterna användes en webserver på Imego.

### 4.2.1 Sensornoder

De noder som utför själva fukt- eller temperaturavläsningarna kallas sensornoder och illustreras i Figur 7. Sensornoderna är batteridrivna och kommunicerar trådlöst när de rapporterar sina data till närmaste router.

Sensornoderna innehåller en modul, ETRX1, som sköter kommunikationen som kommer från en engelsk leverantör av ZigBee-moduler, Telegesis. Telegesis är en av många leverantörer av ZigBee-kretsar som uppfattades kunna leverera robusta moduler och kunde erbjuda ett brett produktsortiment.



Figur 7. MSN struktur.

Sensornoderna utrustades med ett generellt sensorgränssnitt och en generell mjukvara i mikrokontrollern som hanterade alla sensorer som förekom i studien. Mät rutinerna skiljde sig åt betydligt beroende på vilken sensortyp som användes. Sensornodernas insida visas i Figur 8 och i Kapitel Test på byggarbetsplats finns fler bilder på sensorer, kablar och anslutningar. Innandömet till sensornoderna upptas av elektronik men även en hel del tomrum. Storleken prioriterades inte eftersom andra områden som prestanda och nätverksstabilitet var viktigare i denna studie.

Batteritiden för noderna varade en månad eftersom noderna startas upp en gång i timmen för att mäta och avrapportera data. Detta är visserligen en betydligt kortare tid än önskat men fullt accepterbart för fälttestet. Batteritiden går att öka betydligt, vilket är önskvärt vid en produktifiering av systemet.



Figur 8. MSN fotografi.

Elektronikkortet har en storlek av ca 130×70 mm och innehåller förutom mikrokontroller och ZigBee-kretsar även switchar, spänningsregulatorer och ett antal anslutningspinnar.

#### 4.2.2 Routernoder

Nätverket innehåller så kallade routernoder som överför signalen trådlöst från sensornoderna till sinknoden. På detta sätt ökar systemets räckvidd markant. Elektromagnetiska vågor med frekvensen 2.4 GHz har en begränsad igenomträngningsförmåga som normalt innebär att systemet får en kort räckvidd. Strömförsörjningen till dessa routrar har i denna studie tagits direkt från elnätet. Naturligtvis är det önskvärt att även routrar blir batteridrivna och därmed helt trådlösa.

Routernoderna som användes i studien innehåller inga sensorgränssnitt och är därmed betydligt mindre och kompaktare än sensornoderna.

Två varianter av routrar från tillverkaren Telegesis användes. Det var ETRXMCB (MCB=Module Carrier Board), dels med färdigmonterade antenner (Rufa 2.4 GHz SMD) , se Figur 9, och dels med externt anslutna antenner. De färdigmonterade antennerna är rundstrålände och hade en för kort räckvidd för tillämpningen i denna studie. Räckvidden blev något bättre om det yttre plasticskalet som användes för att skydda elektroniken avlägsnades, dock fortfarande för kort.

De externa antennerna som användes var av märket HyperLink HG2409P. Dessa riktade antenner var betydligt större men fick också en betydligt längre räckvidd. Uppnådda räckvidder och andra erfarenheter från arbetet med antenner diskuteras i kapitel 6, Mätresultat.



Figur 9. Telegesis ETRX1 ZigBee module ETRXMCB



### 4.2.3 Sinknod

I ett ZigBee-nätverk finns både en koordinatornod och en så kallad sinknod. En nod kan vara både koordinator och central, men det kan också vara två olika noder. I Telegesis nätverk, som bygger på EmberZNet2.5.x, är koordinatorn den nod som etablerar ett nytt nätverk. När nätverket väl är etablerat har koordinatorn i Telegesis nätverk inte längre någon aktiv roll. Sinknoden har rollen som slutdestination för data som kommer in från sensornoderna, direkt eller via routernoder. Det kan bara finnas en sinknod i ett nätverk, men vilken nod som har rollen som sinknod kan enkelt ändras.

### 4.2.4 Styrning och övervakning av nätverket

Det finns flera olika noder med datorgränssnitt (serieport, USB och CF instickskort) som gör att man kan kontrollera och styra det trådlösa nätverket. Exempelvis kan man ställa tidsintervallen för datainsamling från sensornoderna samt kontrollera vilka routrar som finns i nätverket. I studien användes Telegesis ETRX1CF för installation och felsökning (se Figur 10), detta instickskort passar i bärbara datorer.



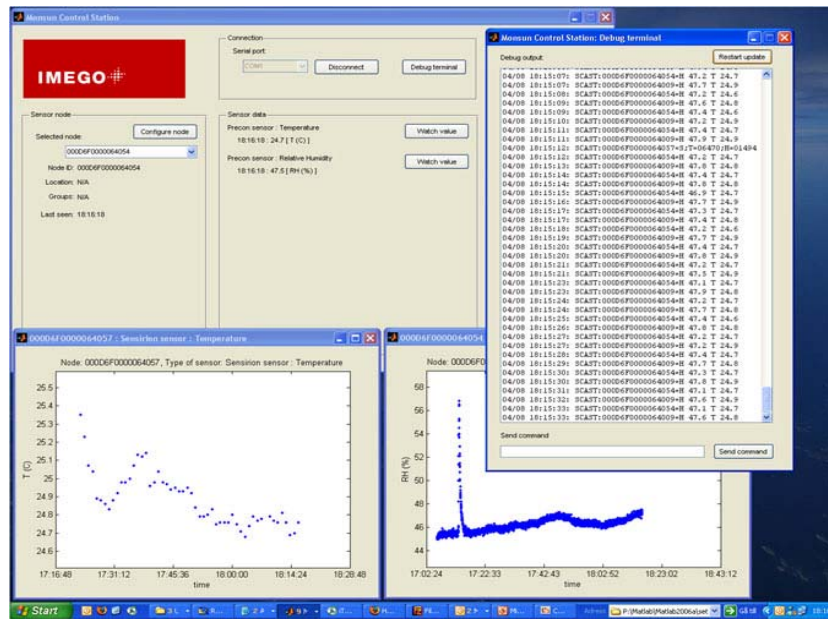
Figur 10. Telegesis ETRX1CF ZigBee modul.

### 4.2.5 Datainsamling

Sinknoden skickar inkommande data vidare genom en seriekabel till en dator. På datorn körs Monsun CS, en mjukvara som tar emot, sorterar och sparar data från sensornoderna. Datorn kan även visa statistik samt kontrollera att vidarebefordring av data till webbservern fungerar som det skall.

Datorprogrammet tar emot data i olika format och ibland behöver enklare beräkningar göras för att uttyda fukt- eller temperaturvärden. Det sätter även tidstämplarna på inkommande data; denna process är bl.a. viktig när en sensornod återansluter till nätverket och skickar data från tidigare mätningar, upp till 20 timmar tillbaka i tid. Till höger i Figur 11 syns ett fönster med långa textrader, en rad för varje mätvärde en sensornod skickar. Detta s k debug-fönster där kommandon kan skrivas in är oerhört användbart vid felsökning.



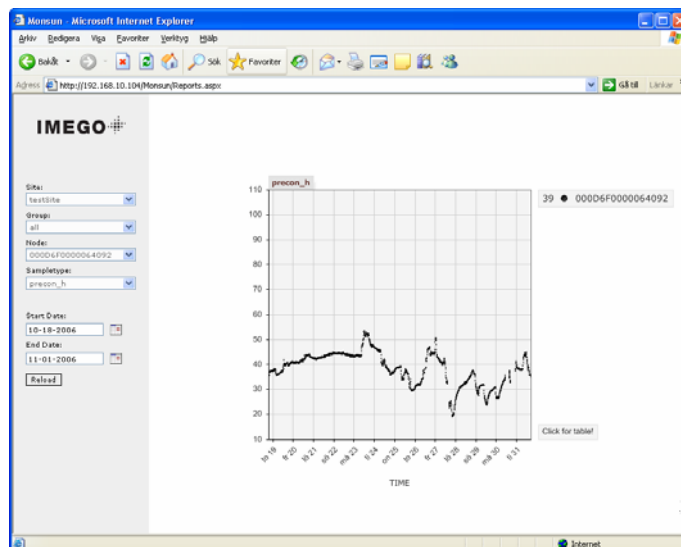


Figur 11. Monsun CS, programmet som hanterar data från fukt- och temperaturmätningar och vidarebefordrar den till webbservern.

#### 4.2.6 Dataserver och Webb sida

Mätvärdena skickas via internet och lagras på en stabil dataserver där de kan sparas under lång tid. I studien lagrades värdena på en webbserver och presenterades i huvudsak som grafer på en webbsida.

Webbservern som användes i denna studie jobbade med databasprogrammet SQL för att hantera och visa mätvärdena. Webb sidan som användes för presentation av mätvärdena hade inloggning med lösenord, se Figur 12.



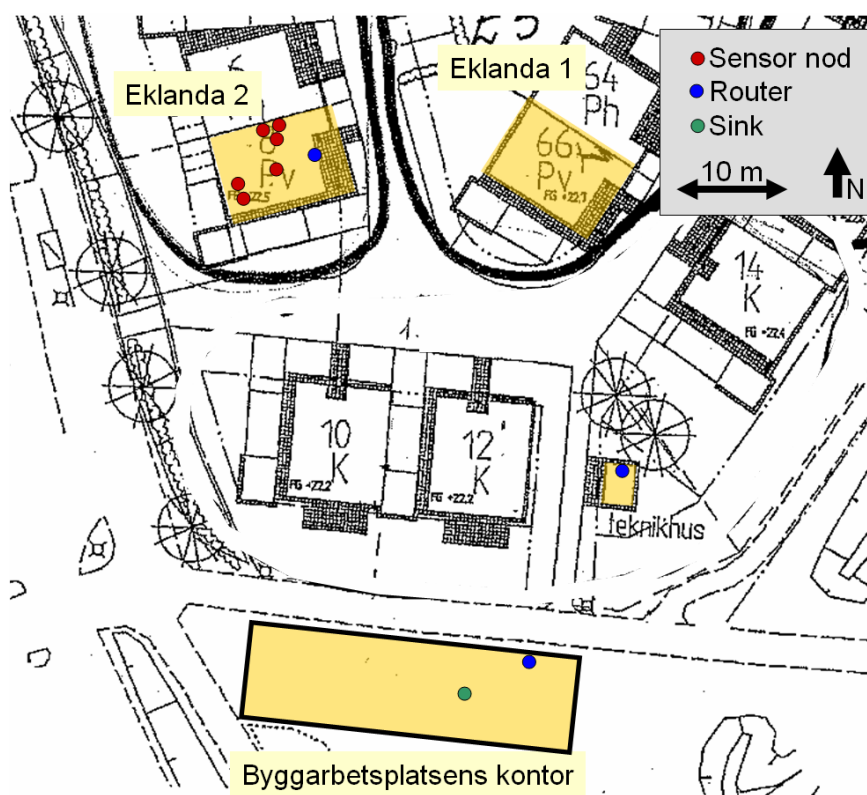
Figur 12. Monsun Webbinterface.

## 5 Test på byggarbetsplats

Två tester utfördes på en byggarbetsplats i Eklanda, strax söder om Göteborg, med 3 månaders mellanrum. Vid varje test mättes RF och temp på flera olika platser i ett hus med tätt fasadskal. Olika hus användes vid de båda testerna. I Figur 13 och Figur 14 visas översiktbilder överdelar av byggarbetsplatsen, med de två mätobjekten och byggarbetsplatsens kontor utmärkta.



Figur 13. Översikt över mätområdet från väster.



Figur 14. Översikt över mätområdet.

## 5.1 Första mätobjektet, Eklanda 1

Det första testet på byggarbetsplatsen utfördes under november och december 2006. Syfte med testet var främst att testa prestanda och driftsäkerhet hos det trådlösa sensornätverket under verkliga förhållanden. Inför testet hade systemet utvecklats och testats och visat sig stabilt i laboratoriemiljö. När systemet startades upp på byggarbetsplatsen konfronterades man genast med en rad svårigheter och problem som inte tidigare visat sig.

I stora drag var stabiliteten i systemet mycket sämre än förväntat. Detta ledde till att överföringen av mätdata från sensornoderna ständigt avbröts av en mängd olika anledningar. Det räcker med att en enda länk i den långa kedjan från sensornod till webbläsare krånglade för att systemet som helhet ska sluta fungera.

I labmiljö räcker det ofta med ett snabbt handgrepp för att korrigera felet och få igång systemet igen om det krånglar. Men då systemet var monterat på byggarbetsplatsen var det mycket mer arbetskrävande att åka ut för att felsöka och korrigera fel.

Ett annat oväntat resultat var att batterierna i sensornoderna hade mycket kortare livslängd än beräknat. De varade bara omkring en vecka vilket inte alls är acceptabelt i denna typ av mätningar.

Efter genomförandet av testet fanns det en lång lista av saker som behövde ses över för att öka stabiliteten hos sensornätverket. Inga längre mätserier kunde samlas in under det första testet på grund av de ständigt återkommande problemen.

## 5.2 Andra mätobjektet, Eklanda 2

Det andra testet på byggarbetsplatsen utfördes under mars och början av april 2007. Denna gång testades både det trådlösa sensornätverket och MER-sensorerna. Syfte med testet var främst att testa prestanda och driftsäkerhet hos det de båda mätsystemen under verkliga förhållanden.

Betongplattan i parhuset göts i september 2006 och huset var tätt i januari 2007. Mätningen inleddes den 2 mars pågick fram till den 3 april.

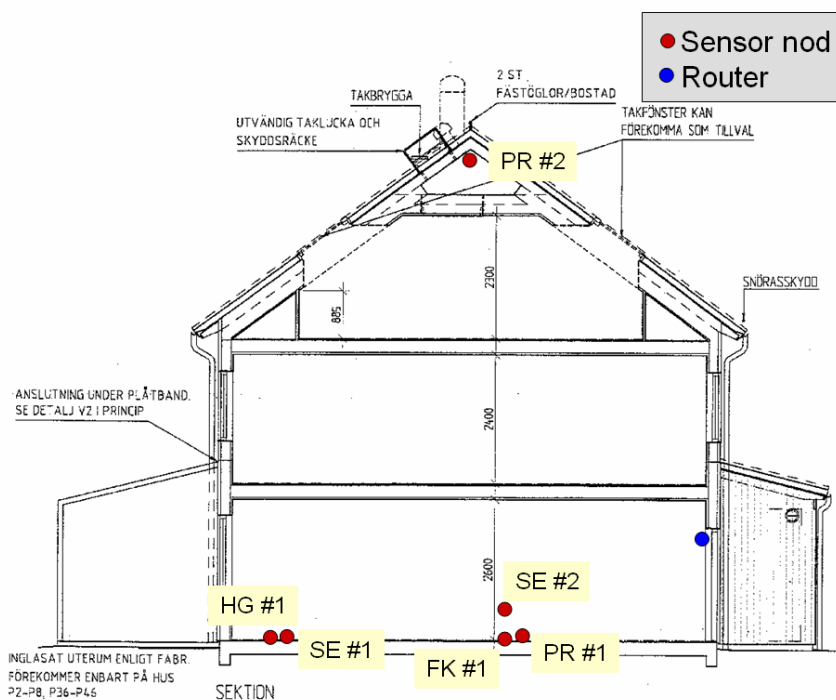


Figur 15. Eklanda 2 från sydost.

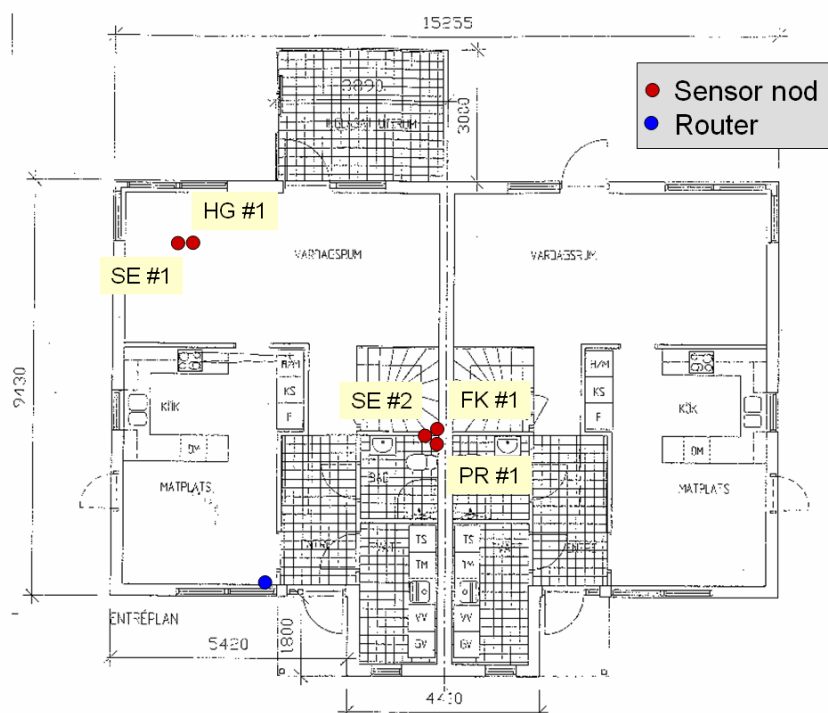
Ett nytt problem som uppmärksammades denna gång var att under byggskedet arbetas det någon gång på nästan alla ytor. En kvarsittande givare riskerat därför att vara i vägen om den inte placeras på ett genomtänkt sätt.

Trots att mätplatserna valdes ut med hänsyn till det byggarbete som skulle utföras flyttades ändå tre av sensorerna av hantverkare på grund av att de var i vägen. Det speglar ett problem som systemet måste hantera.

Totalt placerades fyra stycken MER-sensorer på bottenvåningen samt sammanlagt sex stycken sensornoder, varav fem stycken var på bottenvåningen och en på vinden, se Figur 16 och Figur 17.



Figur 16. Ritning på hus Eklanda 2 med sensornoderna markerade. MER-sensornerna är inte markerade i denna figur.



Figur 17. Bottenplan på hus Eklanda 2 med sensornoderna markerade. MER-sensornerna och noden på vinden är inte med i denna figur.

### 5.2.1 Sensornätverket

På ett fönster på bottenvåningen placerades en routernod med en riktantenn. Alla sensornoder i huset var inom räckhåll för routern. Routernoder i mätobjektet kunde inte kommunicera direkt med sinknoden i byggarbetsplatsens kontor. Signalstyrkan blev för svag eftersom avståndet var för stort i kombination med att det stod ett annat parhus i vägen. En extra routernod placerades i ett teknikhus ca 40 m från parhuset, se Figur 14. Dess riktantenn var vänd mot parhuset. Samtliga routernoder var kopplade till elnätet medan sensornoderna hade batterier. I byggarbetsplatsens kontor placerades en routernod med riktantenn riktad mot teknikhuset samt en sinknod kopplad till en internetansluten dator. På datorn sorterades inkommande data och fick tidstämplar. Via datorn kunde sensornätverket även övervakas och administreras. En gång per timma skickades insamlad data vidare till en server som lagrade informationen i en SQL databas. Databasen var under hela mätningen tillgänglig via en vanlig webbläsare. De insamlade mätvärdena var tillgängliga både som rådata och som grafer.

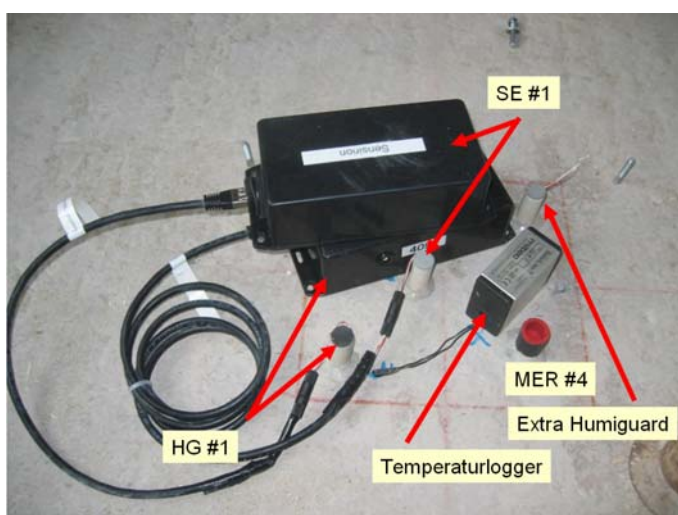
### 5.2.2 Sensorer i betongplatta

På lämplig plats i betongplattan borrades och fordrades fyra mäthål till nominellt mätdjup med någon decimeters avstånd, enligt anvisningarna i RBK-manualen.



I de fodrade hålen monterades en Humi-Guardsensor som kopplades till en sensornod (HG #1) samt en Humi-Guardsensor som lästes av manuellt enligt anvisningarna i RBK-manualen. Den manuella mätningen utgjorde referensen för att bestämma fuktnivån i betongplattan. Referenssensor till Humi-Guard placerades i en referenscell och kopplades till en sensornod (HG #2), data från denna användes för att kalibrera eventuell drift hos de övriga Humi-Guardsensorerna. Dessutom monterades en Sensirionsensor som kopplades till en sensornod (SE #1) och avslutningsvis en MER-sensor (MER #4) som lästes av för hand.

För att skydda mätutrustningen monterades en plastkåpa över mätplatsen. Temperaturen loggades genom en logger som även den placerades under plastkåpan, se Figur 19.



Figur 18. Fem olika sensorer som mäter fukt och temperatur i betongplattan.

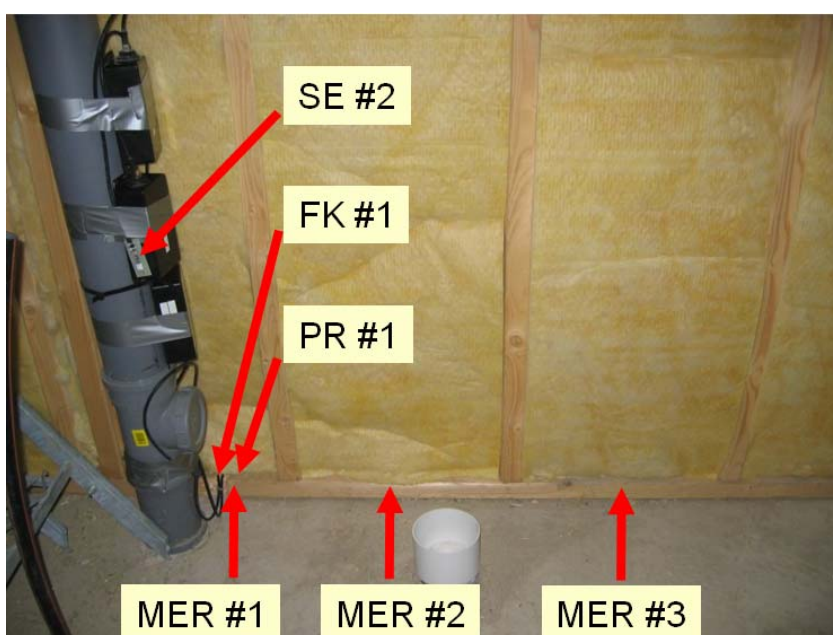


Figur 19. En skyddande plastkåpa monterades för att skydda mätutrustningen.

### 5.2.3 Sensorer i mellanvägg

Sex sensorer placerades vid den lägenhetsskiljande mellanväggen, se Figur 20. Av dessa var 3 stycken sensornätverksnoder (Sensirion, Precon samt stift till hammarelektrod) och 3 stycken var MER-sensorer.

Sensirionsensorn (SE #2) placerades på ett rör invid mellanväggen för att mäta uttorkningsklimatet på bottenvåningen. Preconsensorn (PR #1) placerades ovanpå syllens mellan reglarna bakom röret. Bredvid Preconsensorn monterades stiften till hammarelektroden som mäter syllens fuktkvot (FK #1) och en MER-sensor (MER #1). På syllens i sektionen till höger om dessa sensorer ligger en MER-sensor (MER #2) och ytterligare ett steg till höger placerades ännu en MER-sensor (MER #3).



Figur 20. Sex sensorer placerades i närheten av ett vertikalt avloppsrör på bottenvåningen.

### 5.2.4 Sensorer på vind

En Preconsensor ansluten till en sensornod placerades på vinden under taknocken, se Figur 21.



Figur 21. Nod PR #2 monterad i taknocken.

Sammanfattningsvis följer nedan en tabell av de olika sensornoderna som placerades ut.

Tabell 6. Beskrivning av sensornoderna i Eklanda 2

Nod ID	Typ av sensor	Placering	Kommentar
SE #1	Sensirion	Borrhål i betongplattan	RF/Temp
SE #2	Sensirion	Rör på bottenvån	RF/Temp
PR #1	Precon	Syll på bottenvån	RF/Temp
PR #2	Precon	Taknocken	RF/Temp
HG #1	Humi-Guard	Borrhål i betongplattan	RF/Temp
HG #2	Humi-Guard	Mätcell på Imego	Ref.givare till HG #1
FK #1	Stift	Syll på bottenvån	FK
MER #1	MER	Syll på bottenvån	RF
MER #2	MER	Syll på bottenvån	RF
MER #3	MER	Syll på bottenvån	RF
MER #4	MER	Borrhål i betongplattan	RF



## 6 Mätresultat

---

I detta kapitel diskuteras resultat från de data som samlades in under mätningarna på Eklanda 2.

Syftet med mätningarna med MER-sensorerna var att testa hur tekniken fungerade med avseende på räckvidd och prestanda ute på en byggarbetsplats. Syftet med mätningarna med sensornätverket var att testa stabiliteten hos nätverket och att demonstrera möjligheterna med och nyttan av att samla in kontinuerliga mätdata på distans under en längre tid för att få ett bättre beslutsunderlag i fuktfrågor.

En avgränsning hos testerna var att de inte avsåg att mäta korrekta absolutnivåer, i detta skede. Det var alltså inte frågan om att genomföra en helt korrekt fuktmetning i byggnaderna. En sådan mätning ställer andra krav på bland annat kalibrering av sensorerna. De mätvärden som presenteras i rapporten skall endast ses som exempel på hur data kan samlas in och presenteras i ett framtida kalibrerat system.

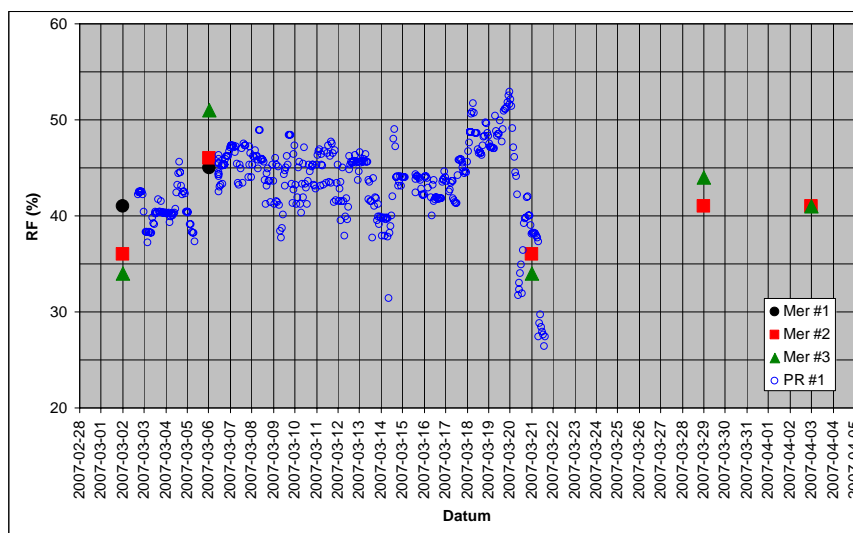
### 6.1 Resultat från MER-sensorerna

MER-sensorerna lästes av med hjälp av en handenhet vid 4 olika tillfällen under mätperioden. Handinstrumentets räckvidd är ca 25-30 cm och det var aldrig några problem att läsa av de olika sensorerna genom gipsplatta och isolering för MER #1-3 eller genom plastkåpa och betong för MER #4.

#### 6.1.1 Mätning av RF i mellanvägg

I Figur 22 visas de avlästa värdena från de fyra avläsningarna med MER-sensorerna som var placerade i mellanväggen tillsammans med motsvarande loggat värde från en näraliggande sensornod (PR #1).

Spridningen mellan de avlästa värdena med MER #1-3 är i storleksordningen  $\pm 5$  % RF och de stämmer väl överens med värdet från sensornoden.



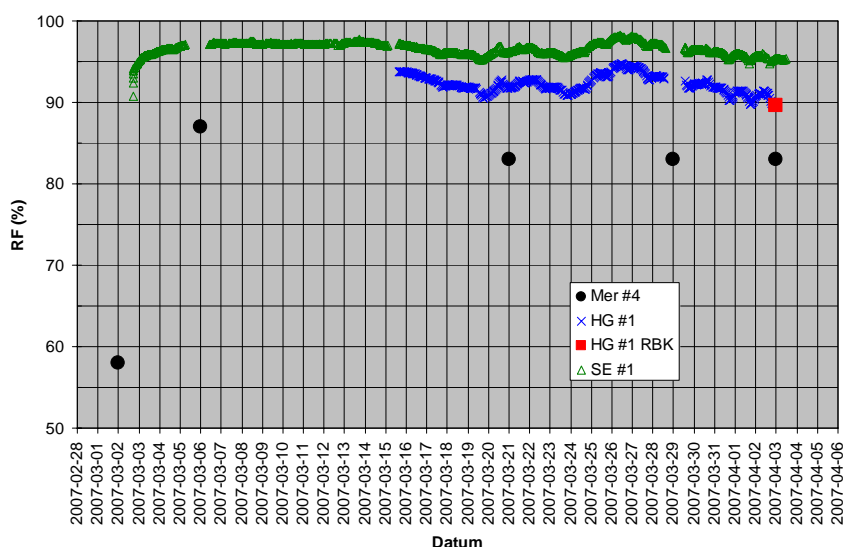
Figur 22. RF uppmätt i en mellanvägg med MER-sensor MER #1-#3 jämfört med en referensnod i sensorernas närhet.

### 6.1.2 Mätning av fukt i betongplatta

Sensorn MER #4 monterades i ett fodrat mäthål i betongplattan. Det första värdet som avlästes i samband med monteringen är sannolikt för lågt eftersom givaren ännu inte hunnit ställa sig i jämvikt med fuktnivån i betongen. De övriga avlästa värdena från MER#4 anger en långsamt sjunkande trend på samma sätt som Humi-Guardsensorerna visar. Den långsamma sänkningen av fuktnivån beror sannolikt på att betongen torkar under mätperioden.

Anledningen till att avläst värde från MER#4 ligger ca 5%RF lägre än Humi-Guardsensorerna kan dels vara läckage i foderrörets tätning så att fukt pyser ut eller att MER-sensorn inte är ordentligt kalibrerad.

Det bör även beaktas att MER-sensorns upplösning var inställd på 2-3 % RF i denna mätning vilket kan vara anledningen till att de tre sista avläsningarna har samma värde. Processorkapaciteten i handenheten tillsammans med svarstiden (beräkningstiden) begränsar upplösningen i det presenterade mätvärdet.



Figur 23. RF uppmätt i en betongplatta med MER-sensor MER #4 jämfört med två olika referensnoder.

## 6.2 Resultat från det trådlösa sensornätverket

Samtliga sensornoder i det trådlösa sensornätverket ställdes in på att läsa av värden och skicka iväg dem en gång per timma. Efter varje mätning gjorde sensornoden 5 försök att skicka det uppmätta värdet till sinknoden via nätverkets routernoder. Om sensornoden misslyckas med att kommunicera med sinknoden sparas det uppmätta värdet i ett minne lokalt på sensornoden. Vid nästa mättillfälle, efter en timma, gjordes ett nytt försök att skicka både det nya värdet och de gamla som eventuellt ligger osända i minnet. Det finns plats för 20 stycken gamla mätvärden i minnet och därför förloras mätdata om sensornoden inte får kontakt med sinknoden inom 20 timmar.

Under den månad som mätningen pågick i Eklanda 2 drabbades systemet totalt tre längre avbrott som innebar att mätdata gick förlorade. Orsakerna till de tre avbrotten var att: 1) (5 mars) mjukvarulicensen för Matlab löpte ut på den dator som skötte datainsamling från sinknoden och överföringen till Internet inne på byggarbetsplatsens kontor, 2) (15 mars) samma dator hängde sig och 3) (28 mars) sinknoden kopplade ur sig ur nätverket av okänd anledning. Alla tre avbrotten var enkla att avhjälpa, men fodrade en resa till mätplatsen för att ta reda på orsaken.

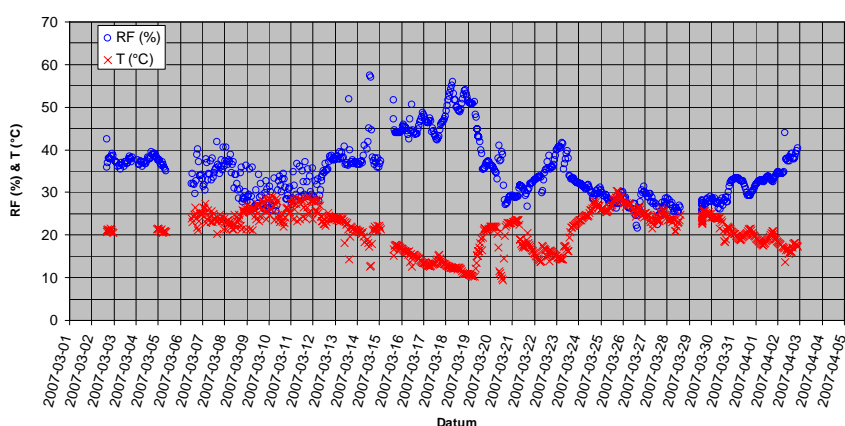
De tre avbrotten i systemet innebar att mätdata från alla sensornoder gick förlorade under en period. Utöver centrala avbrott så förekom det ett par lokala avbrott i enstaka sensornoder. Orsakerna till dessa avbrott diskuteras nedan i samband med att mätresultaten för respektive sensornod redovisas.

Sensornoderna försörjdes av batterier under mätningens gång. Det fanns två olika typer av batterier, 1800 mAh som räckte ca 4 veckor, dvs. nästan hela mätningen, samt 1200 mAh som behövde bytas efter knappt tre veckor.

## 6.2.1 Mätning av uttorkningsklimat, bottenvåning

Uttorkningsklimatet i rumsluften på bottenvåningen mättes med en sensornod (SE #2) som var ansluten till Sensirionsensor. Sensornoden har tappat data vid de tre tillfällena som hela nätverket låg nere.

Mätresultaten visar att det är fullt möjligt att övervaka klimatet i rummet med denna typ av sensornod. Man kan tydligt se de stora variationerna av temperaturen och därmed RF under mätperioden. Under de perioder värmen inte var påslagen sjönk temperaturen inomhus ned till omkring 10°C för att därefter stiga till nästan 30°C i samband med att värmefläktar kördes.



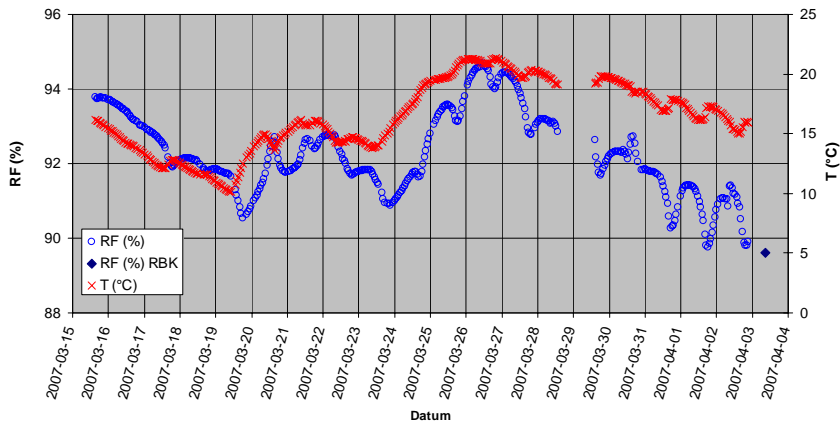
Figur 24. Uttorkningsklimatet på bottenvåningen.

## 6.2.2 Mätning av fukt i betongplattan, Humi-Guard

Vid avläsning av Humi-Guardsensorerna är det nödvändigt att mätningen sker med en växlande strömriktning. Detta hade inte uppmärksammats tidigare så det tog ungefär två veckor in i mätperioden innan avläsningarna fungerade som de skulle. Därför saknas mätdata från Humi-Guardsensorerna för de första veckorna i mars.

Det förekom tidvis glappkontakt på dataöverföringen från temperatursensorn som hör ihop med Humi-Guardsensorn (HG #1). För att kunna kompensera för temperaturberoendet hos HG #1 har temperaturdata från nod SE #1 som var monterad på liknande sätt i borrhålet strax intill.

Mätresultaten visar att det är fullt möjligt att bevaka uttorkningsförloppet i en betongplatta med denna typ av sensornod. Vid slutavläsning enligt RBK, av "Extra Humi-Guard" så visar den på en fuktnivå som är väl överensstämmande med de loggade värdena som sensornoden har levererat.

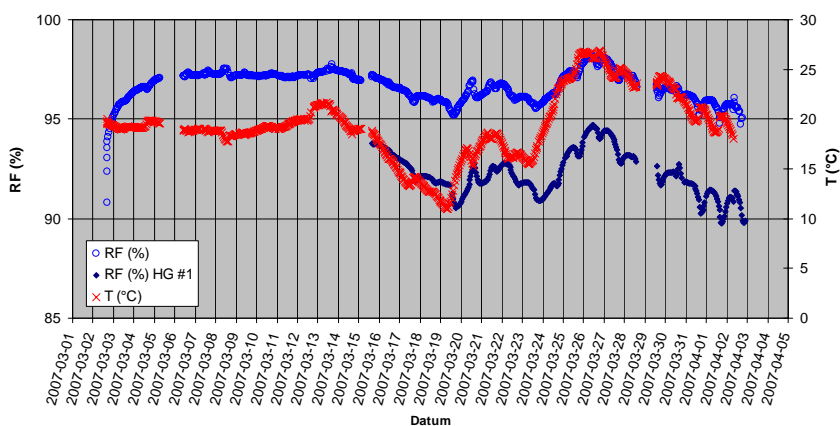


Figur 25. Humi-Guardsensor i betongplattan (HG #1) tillsammans med slutavläsning enligt RBK.

### 6.2.3 Mätning av fukt i betongplatta, Sensirion

Sensornoden med Sensirionsensorn (SE #1) som var monterad i ett fodrat mäthål i bottenplattan rapporterade in mätdata under hela mätperioden med undantag för de tre avbrotten i hela systemet.

Mätresultaten visar att det är fullt möjligt att bevaka uttorkningsförloppet i en betongplatta med denna typ av sensornod. Anledningen till att sensornod SE #1 konstant ligger ca 5%RF högre än sensornod HG #1 är sannolikt att den inte kalibrerats och därmed är inte heller de avlästa värdena korrigerade. Förloppen hos de uppmätta värdena med respektive sensornod följer varandra och temperaturen med stor exakthet. Detta beteende är rimligt och helt riktigt.



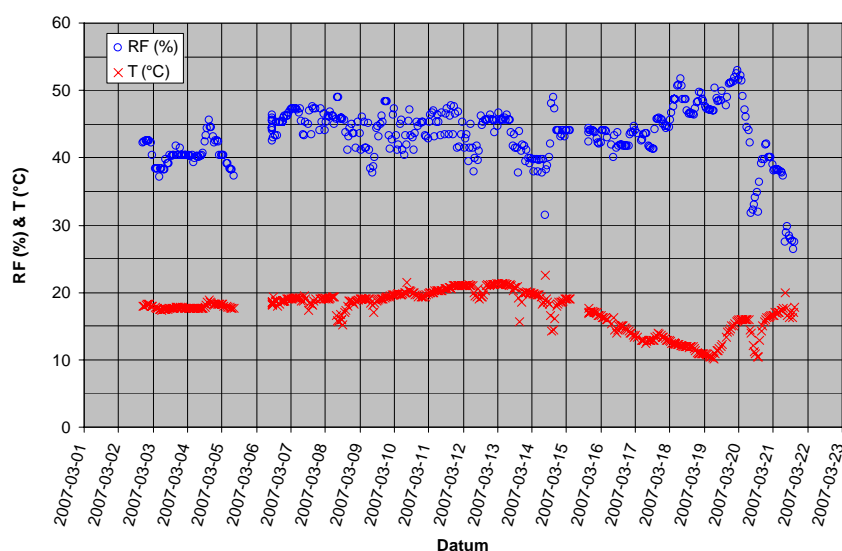
Figur 26. Sensirionsensor i betongplattan (SE #1). Förloppet hos de okalibrerade mätvärdena överensstämmer väl med HG #1.

## 6.2.4 Mätning av RF i mellanvägg, Precon

Sensornoden med Preconsensor (PR #1) som låg på syllen i mellanväggen demonterades i förtid på eget bevåg av en byggnadsarbetare som skulle gipsa väggen. Tanken var att sensorn skulle gipsas in och fortsätta ge data inuti väggen, men det visste inte byggarbetaren.

Sensornoden rapporterade in data felfritt fram till att den demonterades, med undantag av två tillfällen då det var avbrott i hela systemet.

Mätresultaten visar att det är fullt möjligt att övervaka klimatet inne i mellanväggen med denna typ av sensornod. Man kan tydligt se att temperatur och fuktnivå är konstanta under stora delar av mätperioden. För att bedöma fukttransportriktningar och uttorkningspotential bör ånghalten i väggen beräknas och jämföras med ånghalten i rumsluften.

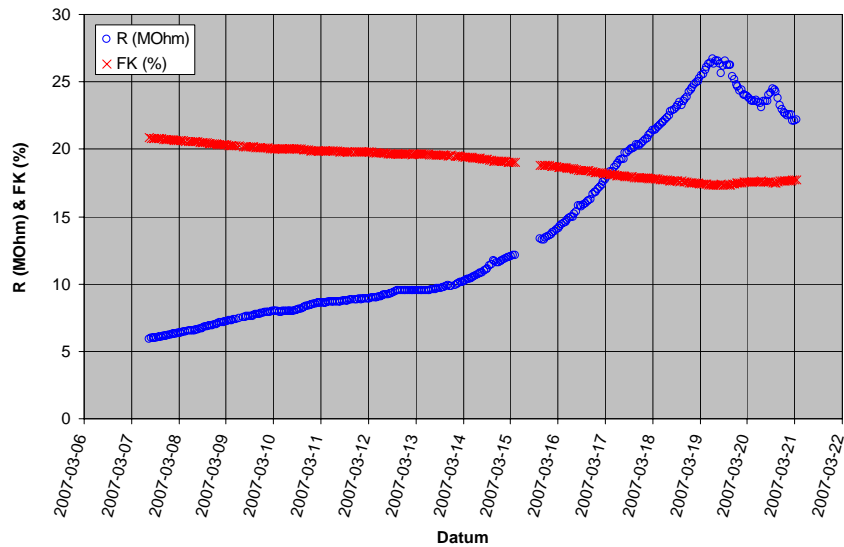


Figur 27. Klimat uppmätt med nod PR #1 placerad ovanpå syllen under isoleringen.

## 6.2.5 Mätning av fuktkvot i syll

Två hammarelektrodstift slogs ned genom syllen så de hamnade i dess undre tredjedel. Dessa stift kopplades till en sensornod (FK #1) för att kontinuerligt mäta träets fuktkvot. Dessa mätningar kom igång först efter en vecka på grund av ett mjukvarufel i sensornoden och avbröts i förtid av samma anledning som sensornod (PR #1).

Mätresultaten visar att det är fullt möjligt att följa uttorkningsförloppet hos träsyllen med denna typ av sensornod. Man kan tydligt se en trend där resistansen mellan spiken stiger under uttorkningsförloppet. Det inledande värdet runt 6 MOhm motsvarar en fuktkvot på drygt 20 % (85 % RF) medan slutvärdet runt 25 MOhm motsvarar en fuktkvot på ca 17 % (77 % RF), se Figur 28. Trenden bryts av de sista dagarna har troligen att göra med att temperaturen i huset varit låg dagarna innan. Syllen bestod av virke från en furu.

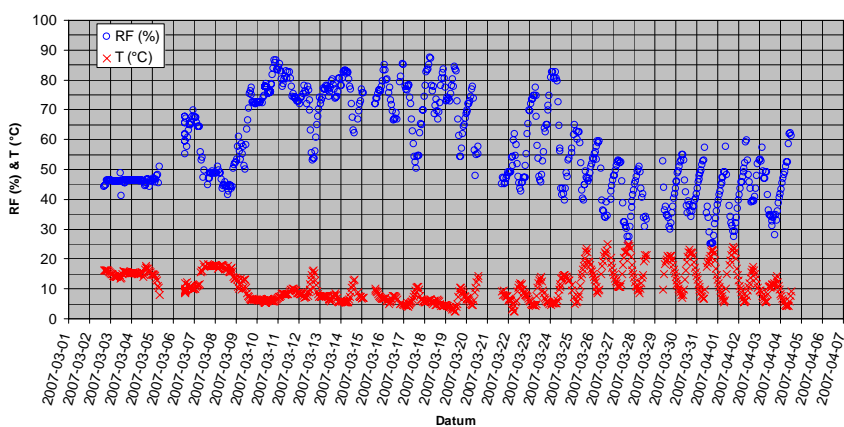


Figur 28. Fuktkvotmätning i syll, uppmätt resistans samt omräknade värden till fuktkvot (FK) enligt Forsén et al (2000).

## 6.2.6 Mätning av uttorkningsklimat, kallvind

Sensornoden med Preconsensorn (PR #2) som var monterad uppe i taknocken rapporterade in mätdata under hela mätperioden med undantag för de tre avbrotten i hela systemet.

Mätresultaten visar att det är fullt möjligt att övervaka klimatet på vinden med denna typ av sensornod. Man kan tydligt se att temperatur och fuktnivå svänger med en dygnsperiodicitet. För att bedöma fuktransportriktningar och uttorkningspotential bör ånghalten på vinden beräknas och jämföras med ånghalten i uteluften och nere i rumsluften.



Figur 29. Klimat på vinden uppmätt med Preconnoden PR #2.



## 7 Tankar och erfarenheter från användarna på arbetsplatsen

---

### 7.1 Allmänt

Innehållet i följande kapitel redovisar resultatet från djupintervjuer med tre fukttekniker som är väl insatta i fjärrloggning av fukt och temperatur. Dessa personer har antingen varit delaktiga i studien eller väl förtrodda med det mätsystem som testats.

Generellt sett vill fuktteknikern ha robusta och tillförlitliga mätsystem. Fjärravläsning av loggande, trådlösa sensorer kan förbättra mätsituationen genom:

- Tillförlitligare resultat
- Bättre noggrannhet
- Mer information, loggade värden
- Färre besök på mätplatsen

Nackdelen med kvarsittande givare är att de sällan får sitta kvar på en byggarbetsplats. Det finns så många individer som fattar egna beslut och många finner skäl till att utrustningen måste flyttas. Det är ibland snarare en attitydfråga än en kunskapsfråga, det hjälper då inte med en anvisning om att utrustningen skall sitta kvar.

Denna attityd måste sannolikt förändras innan trådlösa sensorer har möjlighet att slå genom på byggarbetsplatsen. Som det är idag så känner ingen på byggarbetsplatsen ett ansvar för mätutrustningen efter att fuktteknikern åkt hem. Antingen måste det vara omöjligt att flytta eller koppla ur utrustningen eller så måste attityden förändras.

### 7.2 Installation och stabilitet

För att trådlösa system skall få genomslag måste det bli enklare att sätta upp, installera och administrera nätverkssystemen. Det måste komma fram robusta system som kan startas upp av en fukttekniker och som sedan fungerar utan krångel i en tuff och påfrestande miljö under hela mätningen. Det ideala vore om sensornoderna fanns monterade i prefabricerade byggnadsdelar redan innan de anlände till byggarbetsplatsen.

Erfarenheter från arbetet med denna studie är att de systemen som provats inte uppfyller de krav som arbetsplatsen ställer på stabilitet och användarvänlighet. En bra stabilitet är helt avgörande för systemet.



### 7.3 Storlek, livslängd och räckvidd

Bland annat måste alla ”barnsjukdomar” bort såsom begränsad räckvidd och krav på fri sikt. Storleken måste minskas och batterikapaciteten förbättras så att en nodpunkt för mätning av rumsluft hamnar i samma storleksordning som en kortlek inklusive sensor, batteri, antenn och allt annat.

En nodpunkt för mätning av fukt och temperatur i betongkonstruktioner måste minska i storlek så att det som sticker utanför betongen har storleken av en snusdosa och går att köra över med ett truckhjul eller motsvarande.

Batterikapaciteten är naturligtvis styrda av mätintervallen men med ett värde per timma är det önskvärt att utrustningen klara ett halvår utan batteribyte. Kvarvarande batteritid måste framgå tydligt så att teknikern kan avgöra när det är dags att byta batteri. Innan batteriet tar slut måste sensornoden varna och det får inte finnas kvar en stor mängd data lagrad i sensornoden som riskerar att raderas.

### 7.4 Övervakning av klimat

Fuktteknikern anser att en stor förtjänst av trådlösa system med fjärravläsning finns vid övervakning av klimat. Det är viktigt att personalen på byggarbetsplatsen ges möjlighet att ta del av informationen som samlas in eftersom det är de som kan påverka klimatet. Med klimat menas tillståndet hos luften inomhus, utomhus eller inuti en konstruktionsdel. Fuktteknikern slipper då åka till platsen för att göra momentana avläsningar eller tömma minnet på en logger.

Det förekommer ofta krav på uttorkningsklimat i byggnader, och dessa krav kan ibland vara tuffa och svåra att leva upp till. Det är dock väldigt sällan som kraven på övervakning är specificerade så byggaren gör som han vill ändå. Det är en outtalad självklarhet att näst intill omöjliga klimat skall levereras utan att man för den skull ställer krav på hur de skall övervakas.

Inom andra områden såsom processindustri, museer och till exempel orkesterdiken i konserthus är det stora krav på både klimathållning och kontinuerlig noggrann övervakning som är spårbar.

Eftersom ingen följer upp klimatet på byggena idag så är det stor risk att man gör fel insatser och åtgärder mot fuktproblemen.

### 7.5 Loggning av uttorkning av material

Uttorkning av fukt i material är ett långsamt förlopp. Skillnaden i fuktnivå (ånghalt) mellan det omgivande klimatet och materialet utgör drivkraften för uttorkningen.

Genom att kombinera mätvärden från olika djup i de material vars uttorkning skall övervakas med värden från den omgivande luftens klimat kan man exempelvis bedöma hur effektivt uttorkningen bedrivs och hur lång torktid som återstår.

Det är enkelt och kostnadseffektivt att sätta upp logger i en extra punkt om systemet redan finns på arbetsplatsen.

## 7.6 Fjärravläsning med webbpresentation

Kontinuerliga fjärravläsningar som lagras på en webbserver har ett stort värde i många olika typer av projekt eftersom parterna oberoende av varandra kan få tillgång till aktuella mätvärden.

Många parter kan samtala om ett resultat och alla kan oberoende gå in på en webbplats och se de loggade och fjärravlästa mätvärdena. Detta har sannolikt stor pedagogisk effekt och kan underlätta mätteknikerns roll i ett byggprojekt. Det ger sannolikt en stark känsla av opartiskhet med mätvärden som ligger på en webbserver.

## 7.7 Ökad efterfrågan med nya krav i BBR

Det kan finnas anledning att tro att det uppkommer en ökad efterfrågan på mätning av klimat och fuktnivåer i och med att bestämmelserna i BBR '06 träder ikraft.

I takt med att beställarna ställer krav på väderskydd så är steget sannolikt inte så långt att de också vill ha klimatet i väderskyddet och byggnaden övervakade. Kanske kan dessa funktioner levereras tillsammans.

Attityden är nu att om det inte är ett uttalat krav så behövs det inte. Billigaste lösningen är vad som levereras kunden eftersom det är det han bara vill betala för. Det är lätt att chansa och för det mesta går det bra, det är sällan någon som följer upp de klimatkrav som ställs på byggarbetsplatser idag. Men när man nu enligt BBR '06 krav skall utse en Fuktsäkerhetsansvarig på arbetsplatsen och denne skall upprätta en Fuktplan så kan man förvänta sig en förändring.

Det är en erfarenhet att byggarbetsplatsen skärper sig vad gäller fuktskyddsarbetet om de vet att det utförs mätningar och kontroller. RBK har gjort att det är mycket torrare på många arbetsplatser.

Byggare är i grunden inte intresserade av att skapa en större fuktsäkerhet och mäta fukt, men de gör det om det finns uttalade krav de skall uppfylla.

## 7.8 Önskade funktioner

En datainsamlingspunkt som går att fjärrstyra så att man kan sätta på och stänga av samt ändra parametrar på insamlingen från de olika nodpunkterna. Kunna administrera gränsnivåer, mejl och sms-meddelanden vid överträdelser mm via ett webbgränssnitt. Avsikten med en larmnivå kan vara att informera byggherren samt kalla på byggets uppmärksamhet om att något oönskat har hänt.

Att enkelt kunna zooma in och ut på olika mätintervall och se individuella mätresultat samt min-, max- och medelvärden för det valda intervallet. Resultaten skall kunna visas som RF, T, ånghalt, daggpunkt eller annan önskad parameter.

Gränsvärden samt prognostiserade värden skall kunna läggas in och visas tillsammans med mätvärden och trendkurvor.

Mätdata skall kunna exporteras till andra datorprogram (semikolonseparerat) för fortsatt bearbetning. Speciellt viktigt är kompatibilitet med Excel. Mätdata skall lagras för lång tid och backupfiler vara enkelt åtkomliga.

Det skall finnas ett system för kalibrering av de olika sensorerna som används i nodpunkterna. Korrektioner skall kunna läggas in och lagras via ett webbaserat gränssnitt så de följer mätningarna som utförs med respektive sensor.

Det är önskvärt att kunna koppla kringutrustning till systemet så det även kan användas för fjärrstyrning av avfuktare, värmefläktar mm.

## **7.9 Efterfrågan av fjärrloggning**

Beställarens ombud som ställer upp kraven i byggprocessen skulle se detta som ett värdefullt verktyg för att kunna kontrollera en viktig parameter på byggarbetsplatsen. Vissa ombud gör detta redan i dag med system som är delvis trådlösa och innehåller äldre tekniska lösningar.

Fuktteknikern ser sannolikt detta system som ett bra verktyg för att hjälpa byggarna att leva upp till de fuktkrav som ställs på dem. Det händer ofta plötsliga och oförutsedda händelser på byggarbetsplatser så mättekniker eller deras ombud behöver snabbt kunna vara på plats för att rätta till fel och brister.

## 8 Diskussion och Slutsatser

---

### 8.1 Mätutrustningen

De två systemen som utvärderats i studien har båda visat stor potential för att kunna fungera väl inom sina respektive mätsituationer.

Tekniken finns idag för att skapa fungerande trådlösa system både för handhållna lösningar (MER-sensorer) och för sensornätverk som lagrar loggade mätvärden från byggarbetsplatser på en central webserver. Mätvärdena redovisas exempelvis som grafer som kan ses med webbläsaren i en internetansluten dator.

#### 8.1.1 MER-sensorer

Tekniken med MER-sensorer är idag så väl fungerande att den med en begränsad utvecklingsinsats kan produktifieras för byggbranschen.

Utfallet av testerna med det handhållna systemet, den trådlösa MER-sensorn, var positivt. Både mätutrustningen och handhavandet av den upplevdes fältmässigt och robust. Dock krävs det att placeringen av inmonterade givare märks ut tydligt då det annars kan vara svårt att hitta dem. Räckvidden på den trådlösa överföringen är 25-30 cm vilket är fullt tillräckligt för att kunna mäta inne i de flesta konstruktioner.

Överensstämmelsen med resultatet från konventionella sensorer var god. Upplösningen av mätvärdet på 2-3 % RF är tillräcklig för många mätsituationer där man vill avgöra om byggnadsdelen är torr eller fuktig. Men för att följa uttorkningsförloppet av en fuktig byggnadsdel önskas en bättre upplösning. Detta kan åstadkommas med bättre beräkningskapacitet i handinstrumentet.

#### 8.1.2 Sensornätverket

Tekniken med ZigBee-baserade trådlösa sensornätverk är idag inte tillräckligt mogen för att omedelbart produktifieras för byggbranschen. Samtliga komponenter i systemet finns att köpa på marknaden och kan sammanfogas till ett fungerande system. Det har dock visat sig att dessa system kräver fortsatta utvecklingsinsatser för att bli av med alla ”barnsjukdomar” samt att kunna tillgodose krav på viktiga parametrar såsom erforderlig batteritid och räckvidd.

Sensornätverket som tagits fram och testats i denna studie visar på att det är möjligt att sätta upp ett fungerande trådlöst system för fuktmätning på en byggarbetsplats. Absolutnivåer och uttorkningsförlopp har kunnat mätas i flera olika byggnadskonstruktioner. De trådlösa sensornoderna har framgångsrikt kopplats till flera olika typer av temperatur och RF-sensorer. Routernoder har använts för att öka nätverkets räckvidd och en sinknod kopplad till en dator för att samla in mätdata från samtliga sensornoder. Den insamlade mätdata har kontinuerligt lagrats på en

webbserver och presenterats på en webbsida som kan läsas med en vanlig webbläsare i en internetansluten dator.

Dock är systemet som det ser ut idag att betrakta som en prototyp som behöver utvecklas inom många områden. Bland annat behöver följande brister åtgärdas innan produktifiering kan bli aktuellt:

- högre driftsäkerhet, felsökning på distans
- längre batteritid, minst 6 månader
- längre räckvidd, gärna runt 100 m mellan routers
- mindre sensornoder, som en kortlek eller snusdosa.
- vara mycket tåligt för damm och yttre våld
- bättre användarvänlighet vad gäller igångsättande
- användargränssnitt med möjlighet att styra och lägga in larmnivåer

Dessa förbättringar är möjliga att åstadkomma med den teknik som finns tillgänglig idag, men det kräver naturligtvis ett gediget utvecklingsarbete.

## 8.2 Användningen

Båda systemen som testades i studien har bedömts som mycket intressanta och med stor potential inom byggbranschen.

Det finns ett behov av att kontrollera absolutnivåer och följa fuktförlopp i byggnadsdelar för att de inte skall riskera att bli fuktskadade. Efterfrågan av dokumenterade mätningar kommer sannolikt att öka i byggbranschen i och med Boverkets krav och rekommendationer i BBR kapitel 6:5, ”kontroll av att material inte har fuktskadats under byggtiden bör ske genom besiktningar, mätningar eller genom analyser som dokumenteras”.

Trådlösa sensorsystem som kan administreras och läsas av på distans via webbläsaren i en internetansluten dator har potential att bidra med följande positiva värden:

- Bättre noggrannhet vid loggande mätning, bland annat genom möjligheten att granska förlopp och identifiera orimliga mätvärden.
- Tillförlitligare resultat genom möjligheten att enkelt jämföra värden i olika konstruktioner och byggnader med prognoser och statistik.
- Bättre information att använda vid beslut, bland annat genom att de loggade värdena kan sparas under lång tid på webbservern eller sammanställas till statistik.
- Färre besök på mätplatsen minskar tidsåtgången för resor som istället kan användas för att sammanställa och utvärdera mätresultat.
- Möjlighet till gemensam granskning av ”opartisk data” över internet, kan bidra till att öka trovärdigheten mot en beställare.
- Bättre övervakning och snabbare respons vid oförutsedda händelser genom larm och att senaste mätdata finns tillgängligt på internet.

### 8.3 Framtida vision

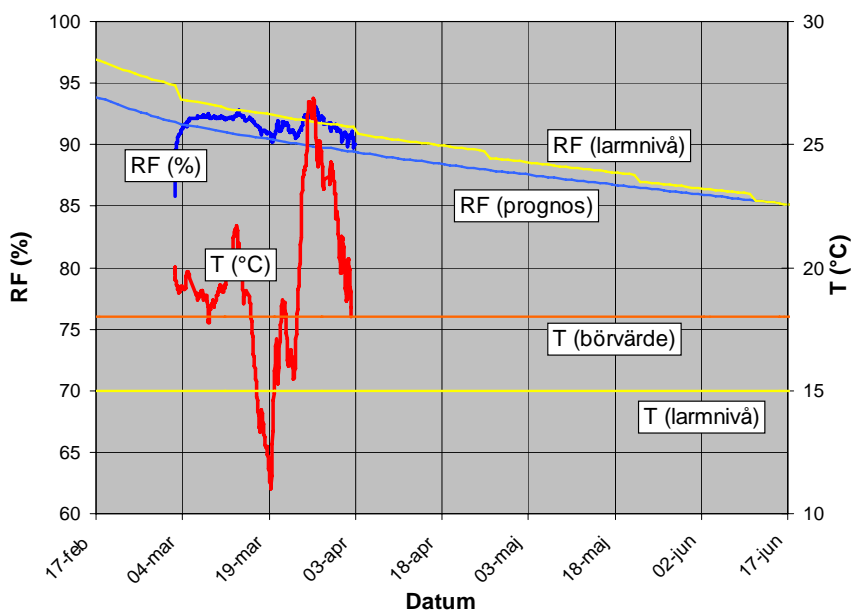
Under studiens gång har det kommit till klarhet att det inte råder något tvivel om att det på sikt kommer att dyka upp system för trådlösa sensornätverk som lämpar sig för byggindustrin. Hur länge det dröjer och hur dessa system fungerar påverkas av hur aktiv byggbranschen är som beställare av dessa system.

En framtida vision för fuktmätning på byggarbetsplatsen kan vara ett tillförlitligt, enkelt och överskådligt system som bevakar alla delar i realtid.

Kanske består detta framtida system av flera givare som monteras trådlöst på eller i konstruktionen på ett skyddat sätt så att varken miljön eller andra faktorer stör eller påverkar resultatet. Givarna kan sedan leverera tillförlitliga mätvärden under hela byggnadens livslängd, helst utan att underhåll av typen batteribyte eller kalibrering erfordras.

De kalibrerade mätresultaten från givarna lagras på en webbserver och redovisas direkt på skärmen hos en internetansluten dator genom ett klick på en ikon.

Ett prognosverktyg är kopplat till resultatredovisningen, ett förväntat torkförlopp kan jämföras med de uppmätta värdena så att skillnader från förväntat beteende kan synliggöras, se Figur 30.



Figur 30. Presentation av mätdata kopplat till prognosverktyg och larmgränser.

## 9 Referenser

---

Forsén, Holger & Tarvainen, Veikko. Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters. Espoo 2000. Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 420. 79 p. + app. 17 p.

Greenspan Lewis. Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions. Journal of research of the National Bureau of standards – A. Physics and Chemistry. Vol. 81A, No. 1 January-February 1977. pp 89-96.

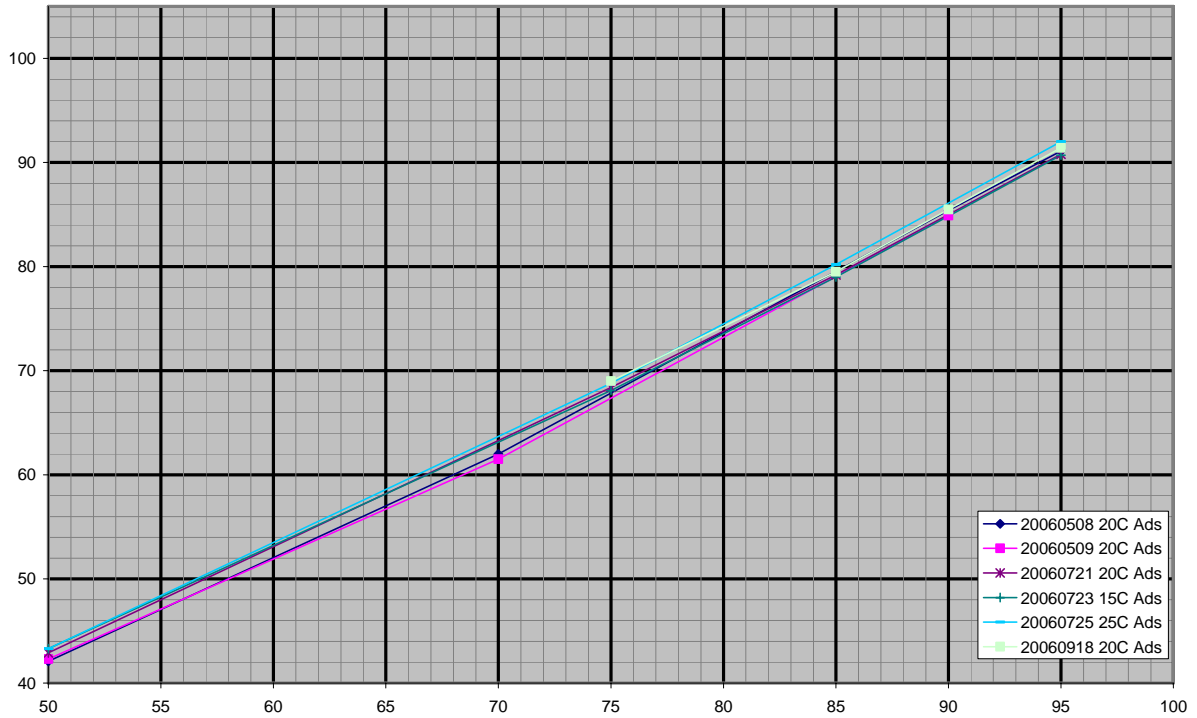
Rådet för byggkompetens, Sveriges Byggindustrier. [www.rbk.nu](http://www.rbk.nu)

Sjöberg , Blomgren, Fuktmätning med trådlösa sensorer inom byggindustrin, (ID:11460), SBUF, (2004)

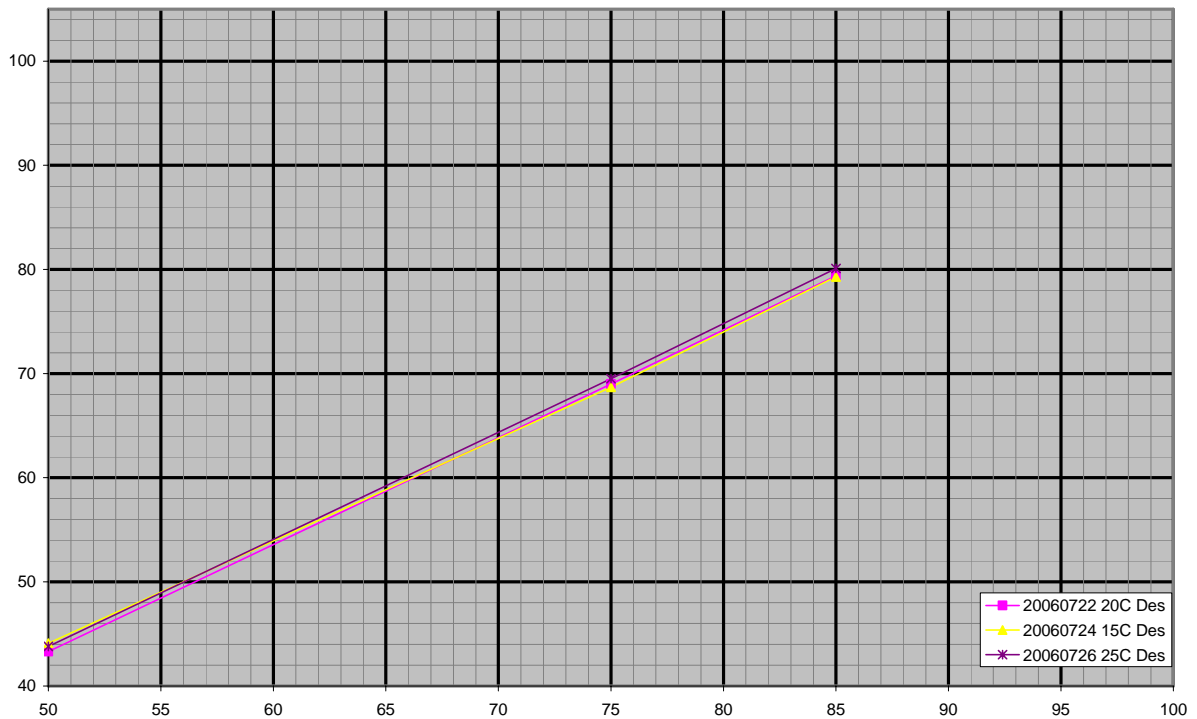


# Kalibreringskurvor

## Precon-sensorer

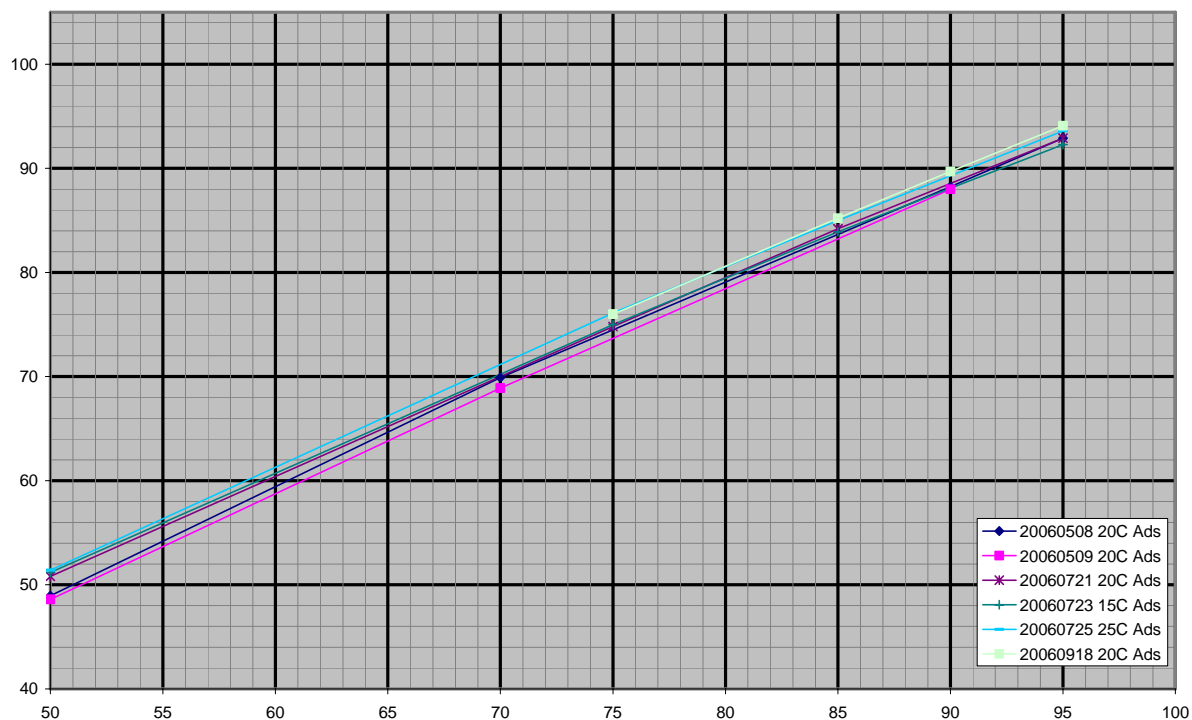


Figur 1. Kalibreringskurvor (adsorption) från upprepade kalibreringar av en Precon-sensor.

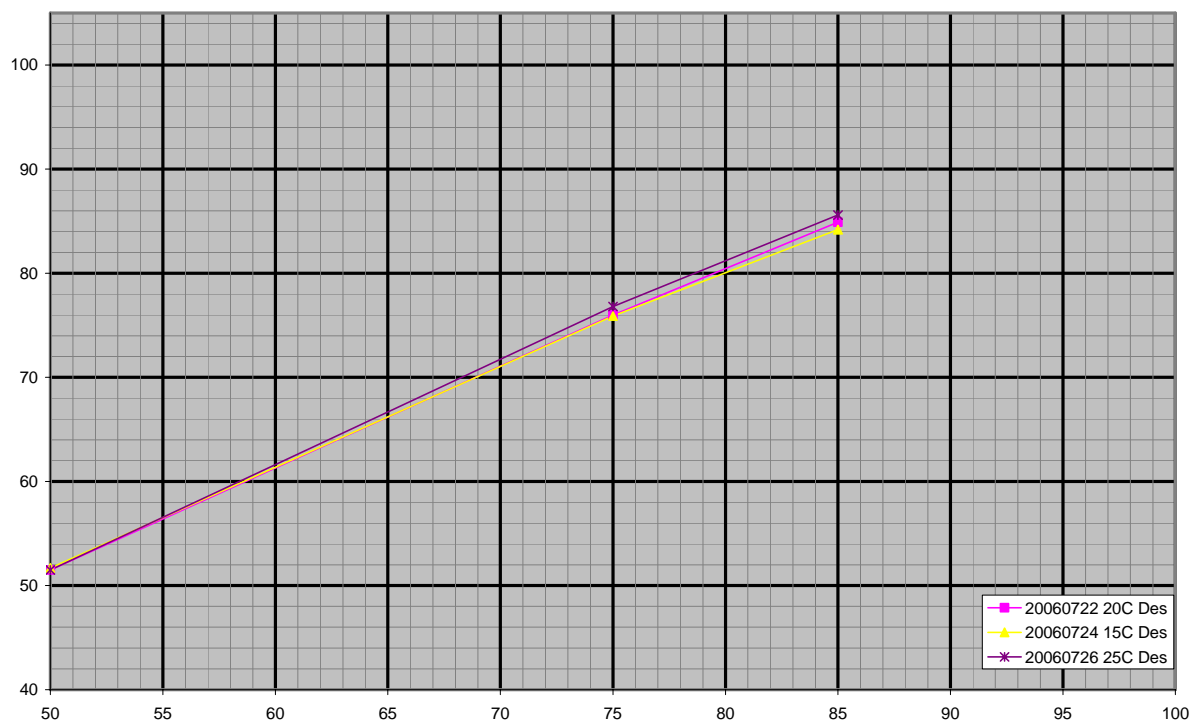


Figur 2. Kalibreringskurvor (desorption) från upprepade kalibreringar av en Precon-sensor.

Sensirion-sensorer

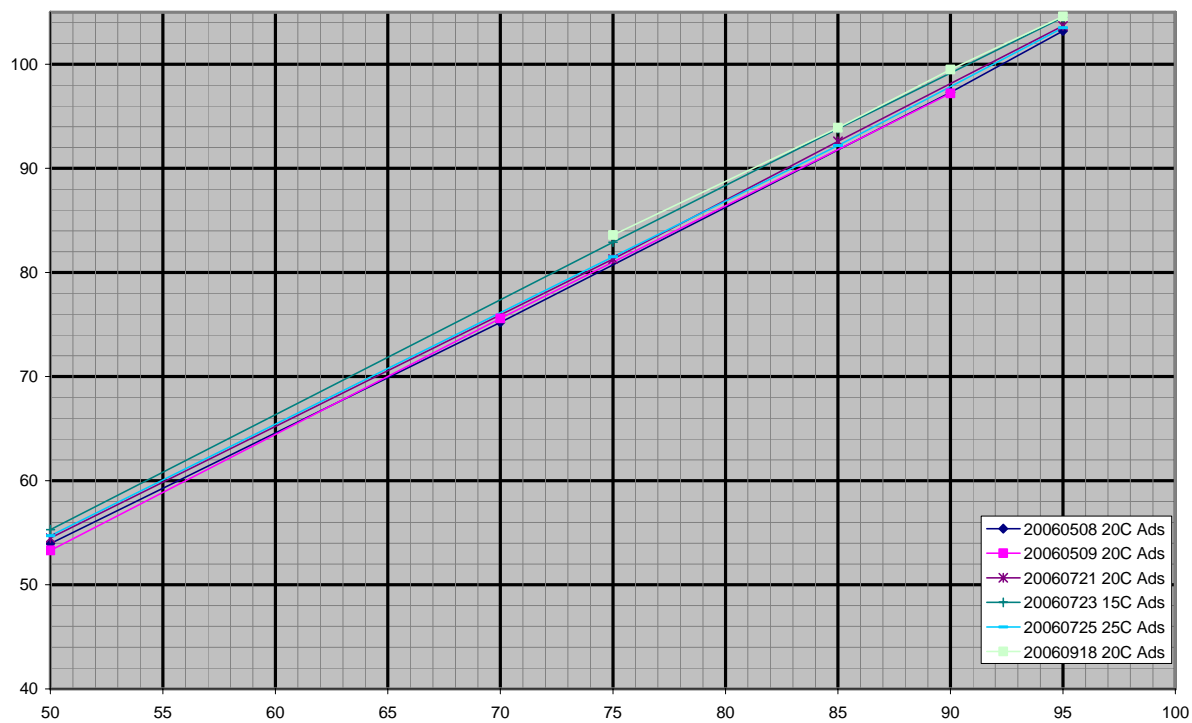


Figur 3. Kalibreringskurvor (adsorption) för en Sensirion-sensor.

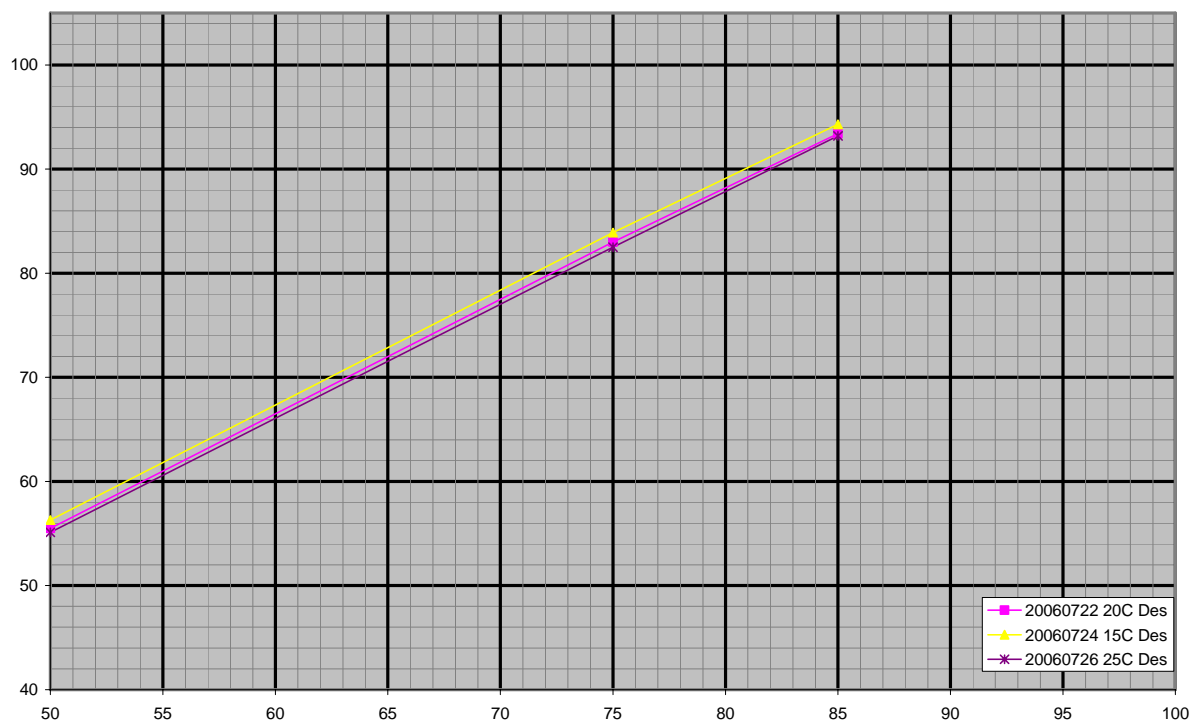


Figur 4. Kalibreringskurvor (desorption) för en Sensirion-sensor.

**Honeywell-sensorer**

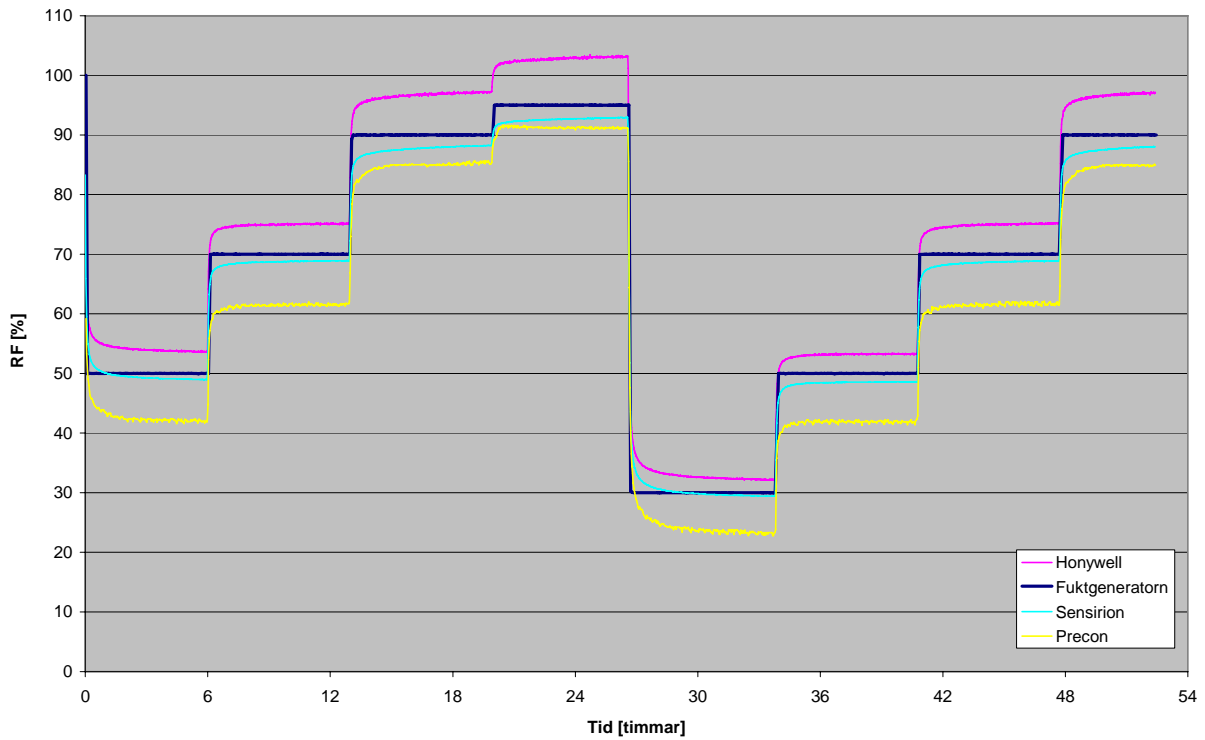


Figur 5. Kalibreringskurvor (adsorption) för medelvärdet av fyra Honeywell-sensorer.

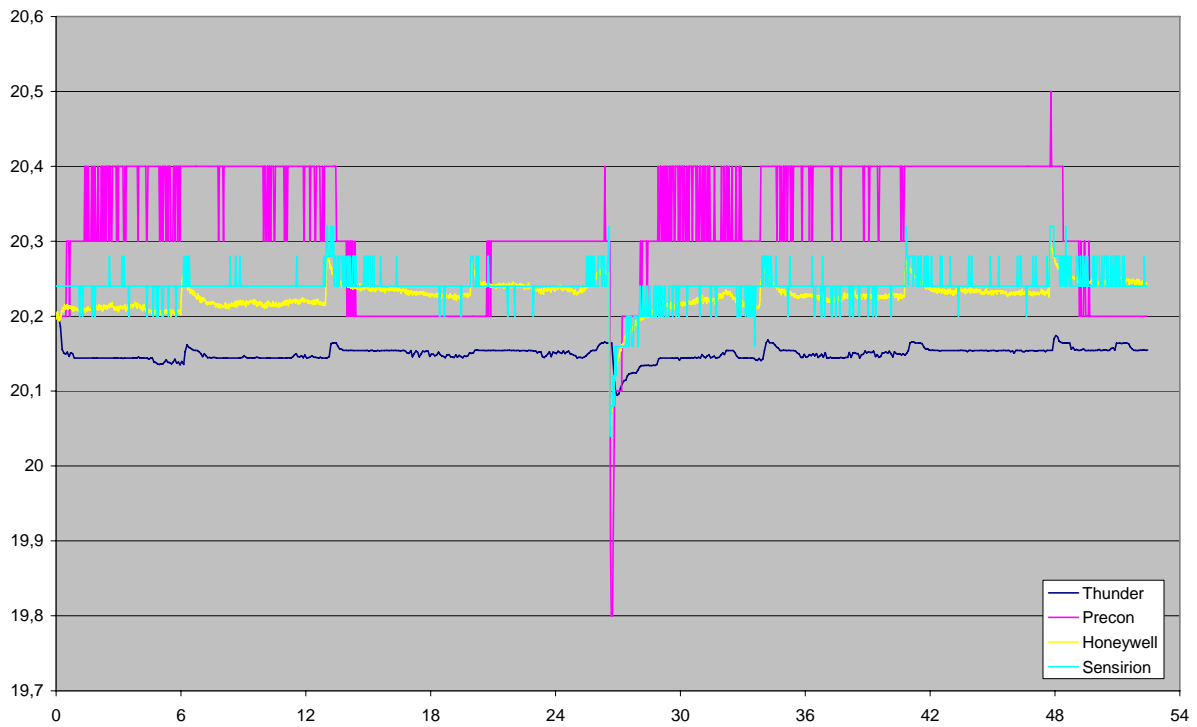


Figur 6. Kalibreringskurvor (desorption) för medelvärdet av fyra Honeywell-sensorer.

Kalibrering 30,50,70,90,95 %RF vid 20°C. 2006-05-08

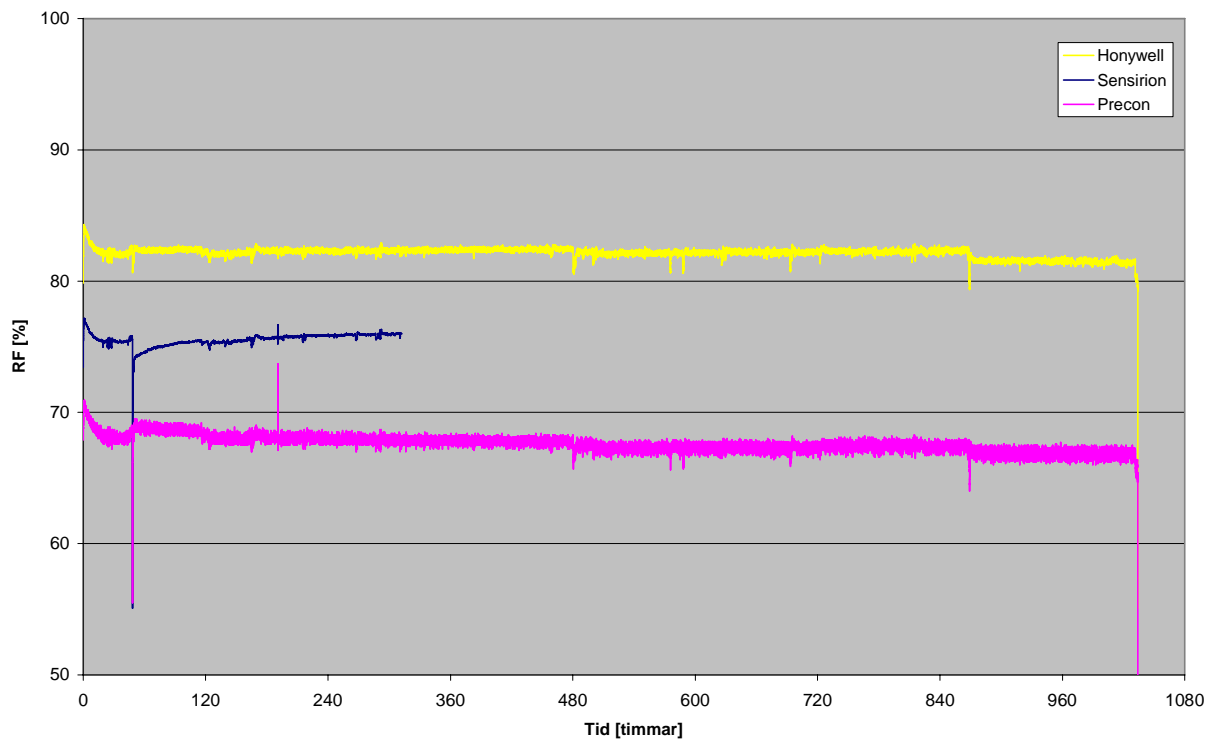


Figur 7. Uppmätta RF-värden vid kalibrering 2006-05-08.

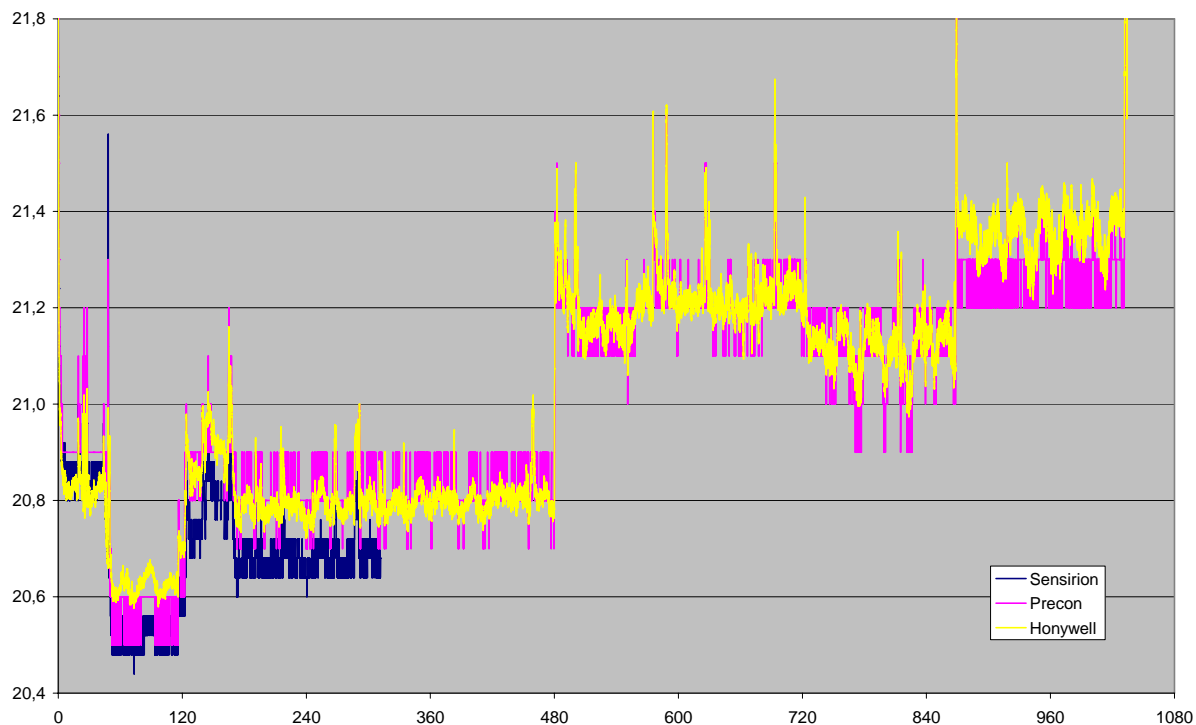


Figur 8. Uppmätta temperaturer vid kalibrering 2006-05-08.

Klimatbox (NaCl) 75 %RF vid 20°C. 2006-05-10

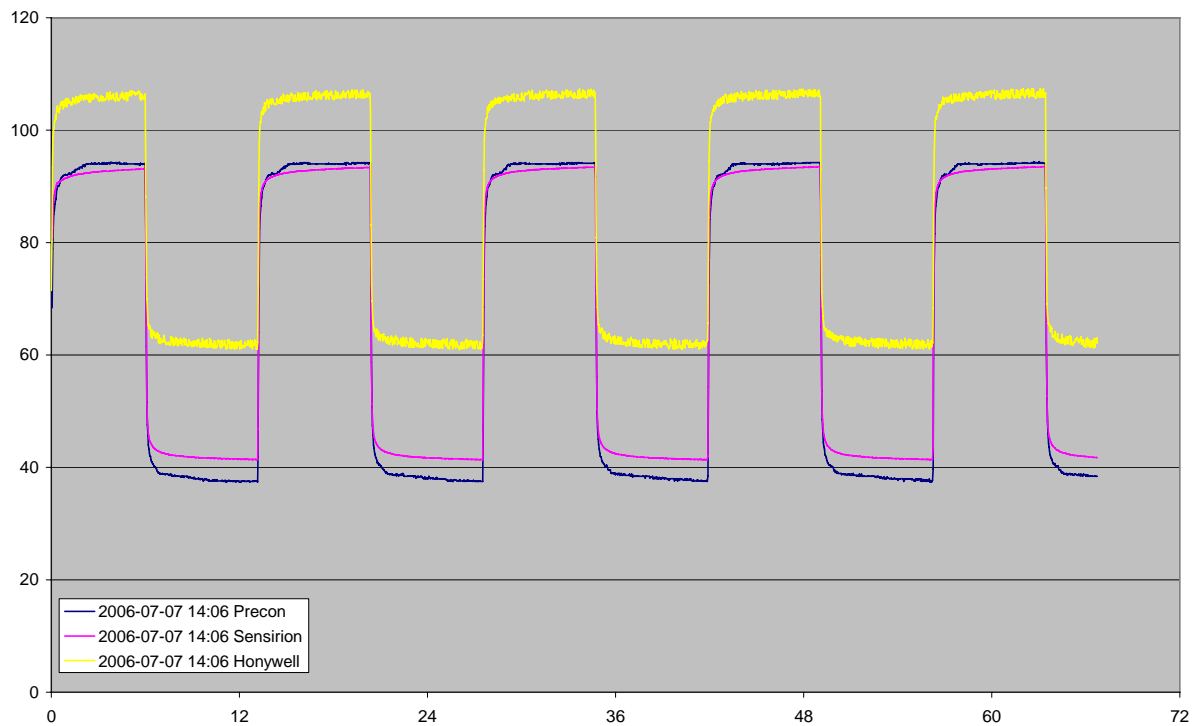


Figur 9. Uppmätta RF-värden i klimatbox (NaCl) 2006-05-01 till 2006-06-22.

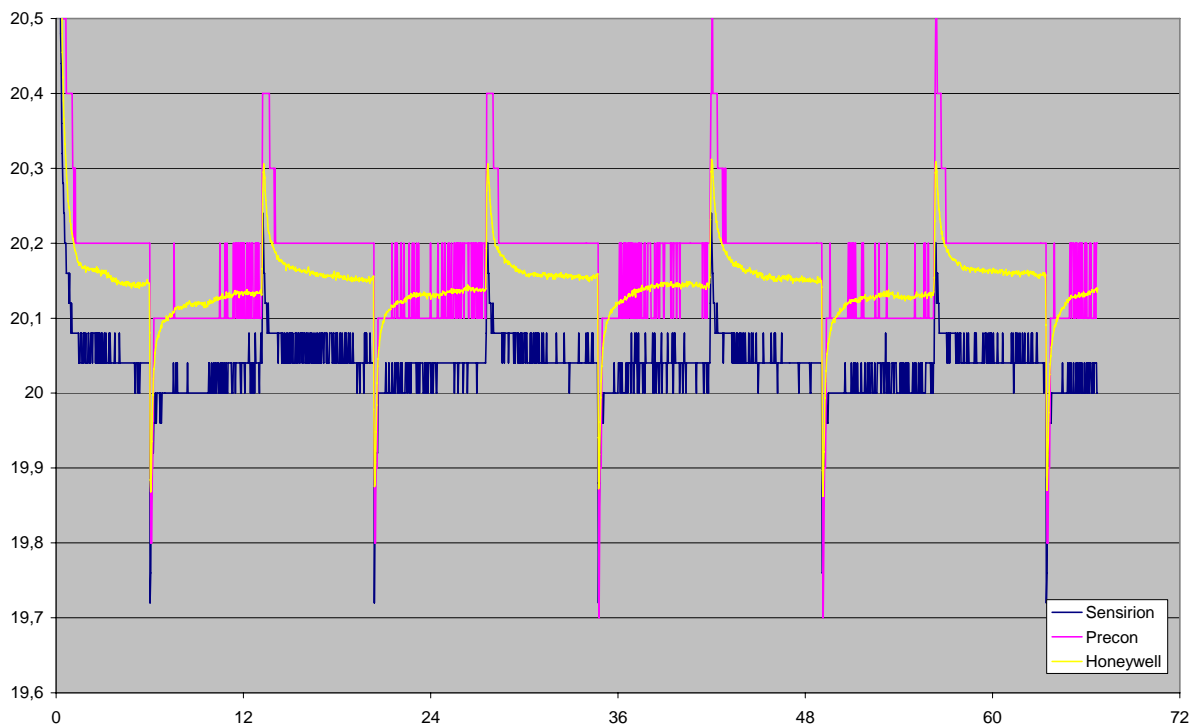


Figur 10. Uppmätta temperaturer i klimatbox (NaCl) 2006-05-01 till 2006-06-22.

Alternerande 95/40 %RF vid 20°C. 2006-07-07

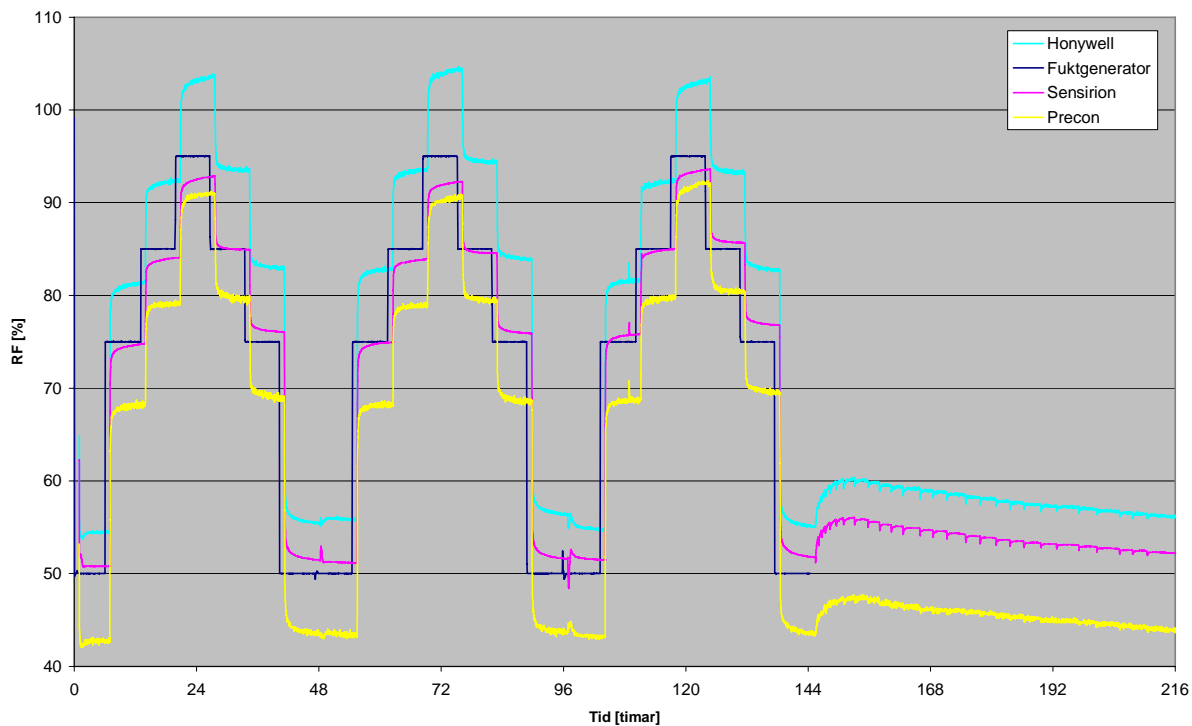


Figur 11. Uppmätta RF-värden vid alternerande klimat (fuktgenerator) 2006-07-07.

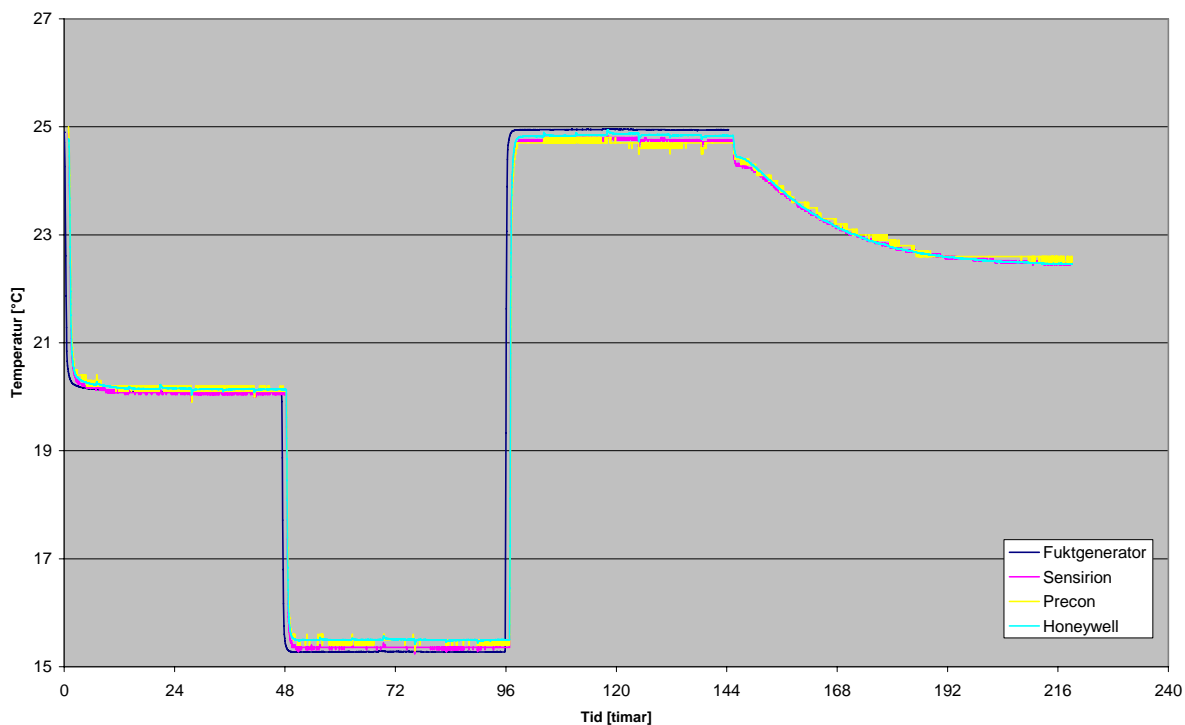


Figur 12. Uppmätta temperaturer vid alternerande klimat (fuktgenerator) 2006-07-07.

Kalibrering 50,75,85,95 %RF vid 15,20,25°C. 2006-07-21



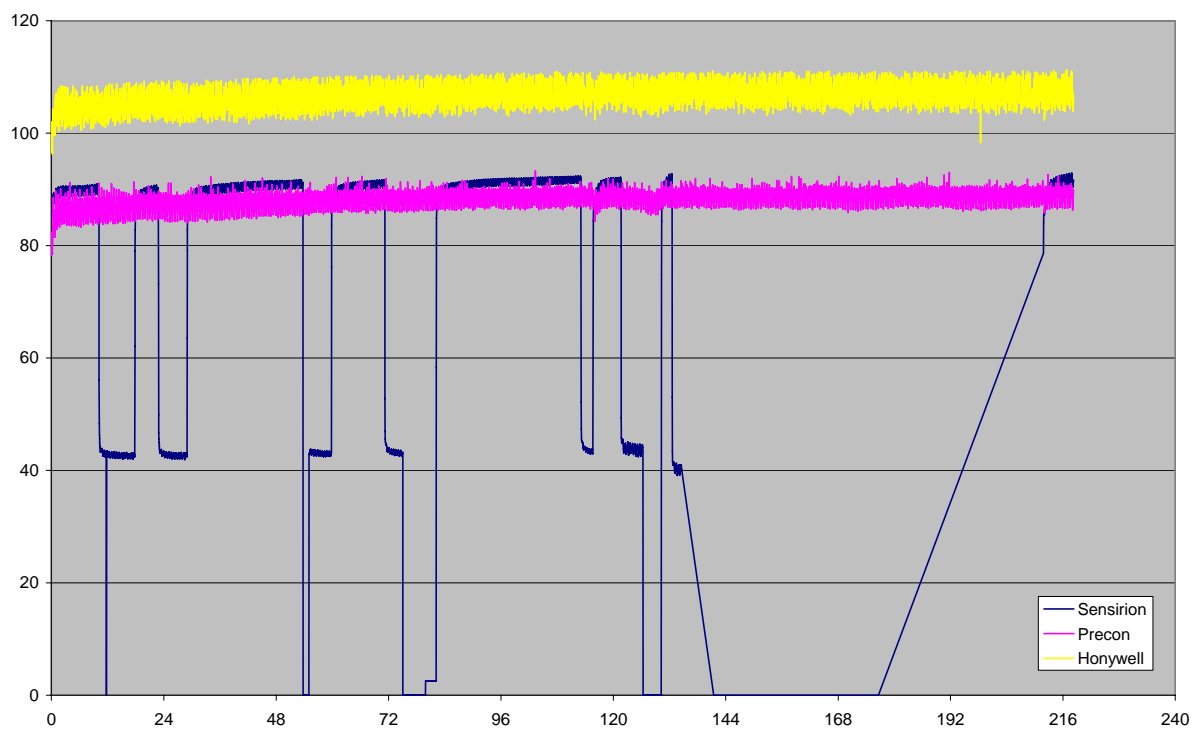
Figur 13. Uppmätta RF-värden vid kalibrering 2006-07-21.



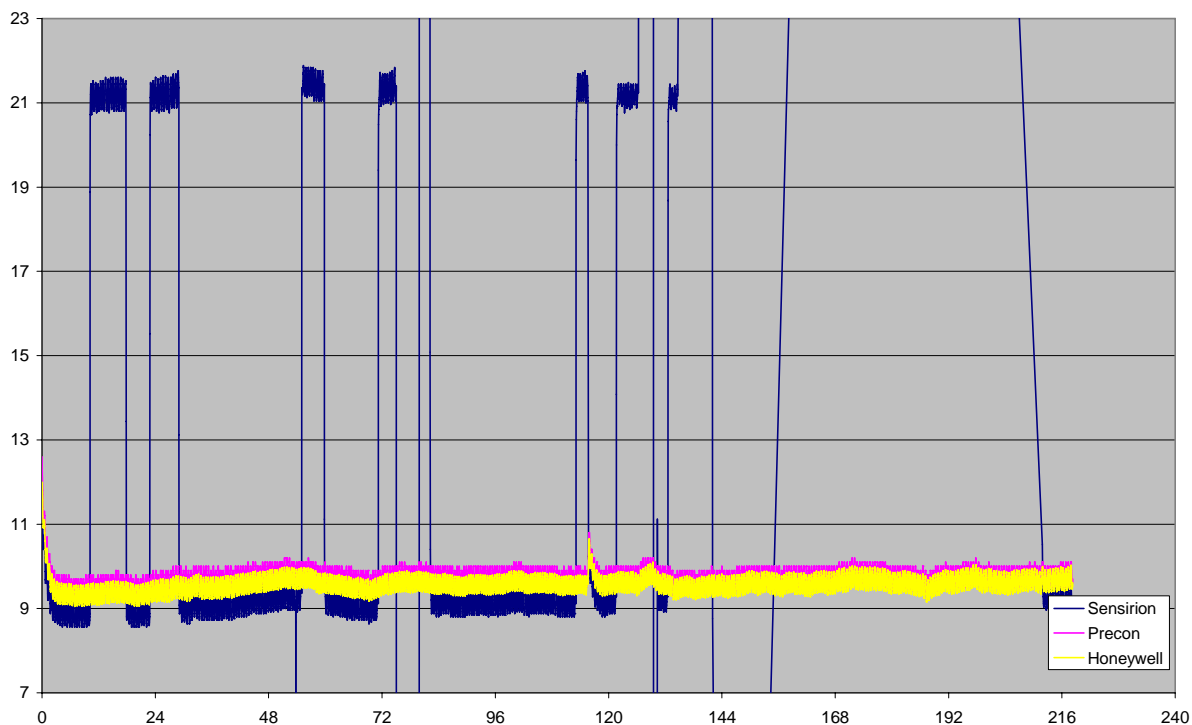
Figur 14. Uppmätta temperaturer vid kalibrering 2006-07-21.



## Klimatbox (KCI) 86%RF vid 10°C. 2006-09-06

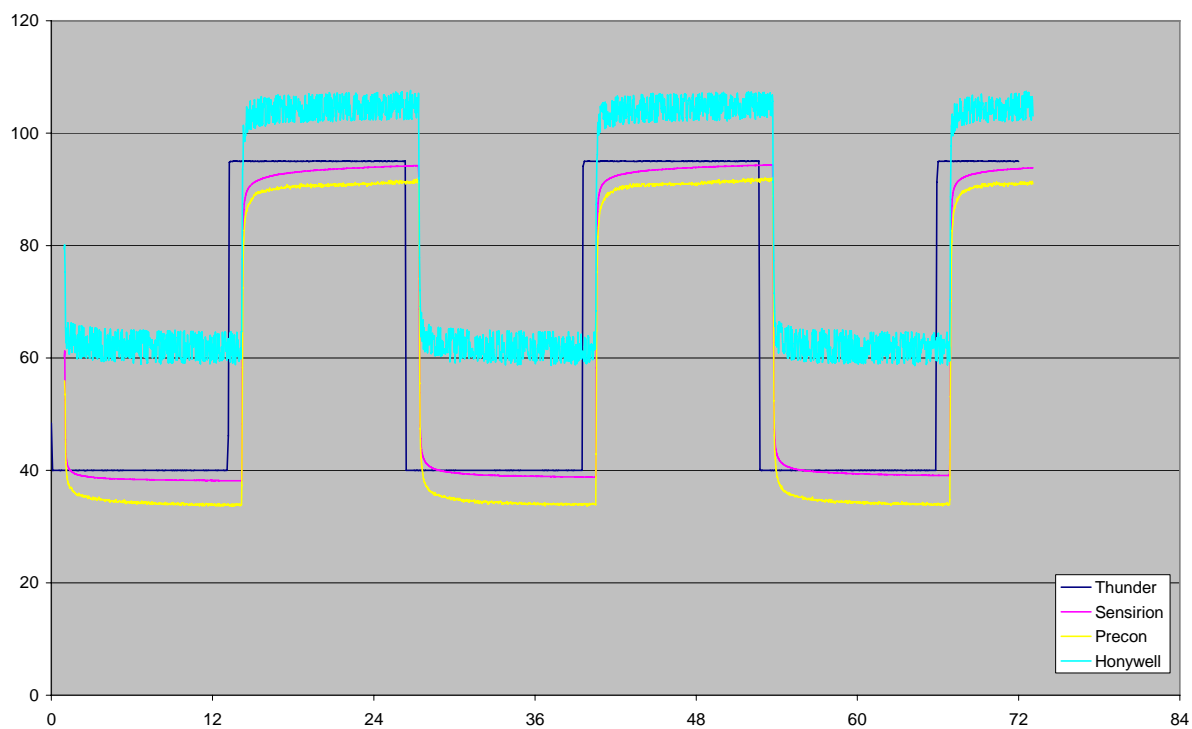


Figur 15. Uppmätta RF-värden i klimatbox 2006-09-06 till 2006-09-15.

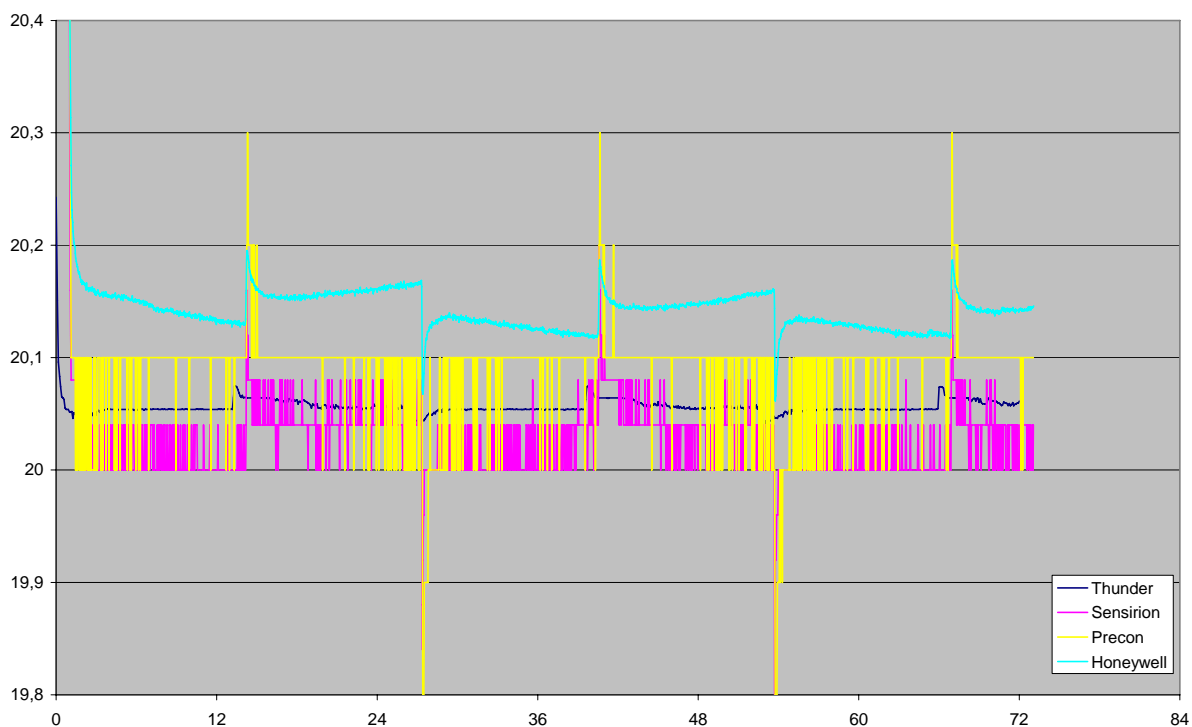


Figur 16. Uppmätta temperaturer i klimatbox 2006-09-06 till 2006-09-15.

## Alternerande 95/40 % RF vid 20°C. 2006-09-15

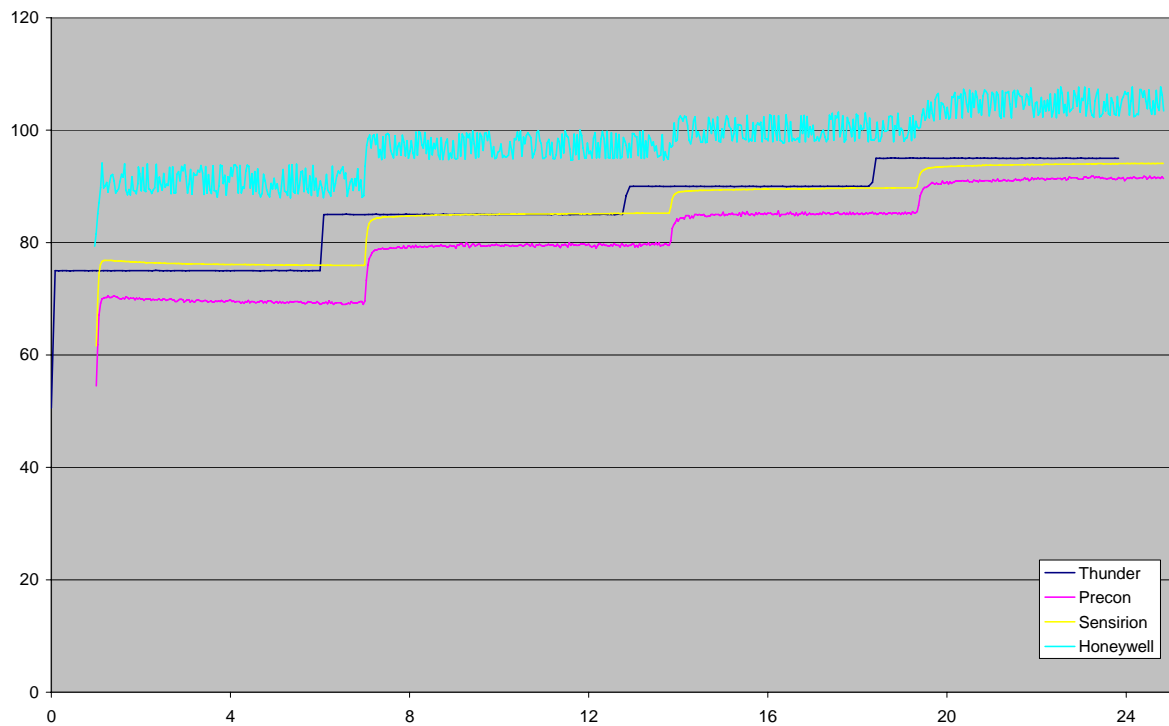


Figur 17. Uppmätta RF-värden vid alternerande klimat (fuktgenerator) 2006-09-15.

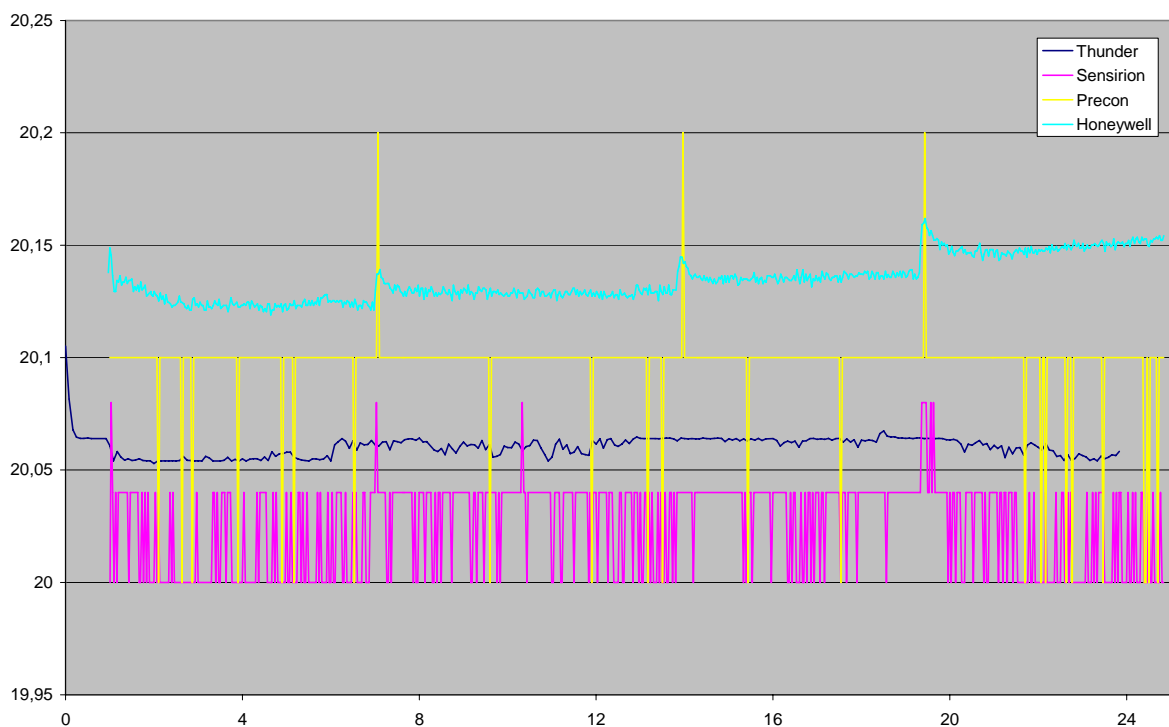


Figur 18. Uppmätta temperaturer vid alternerande klimat (fuktgenerator) 2006-09-15.

## Kalibrering 75,85,90,95 %RF vid 20°C. 2006-09-18

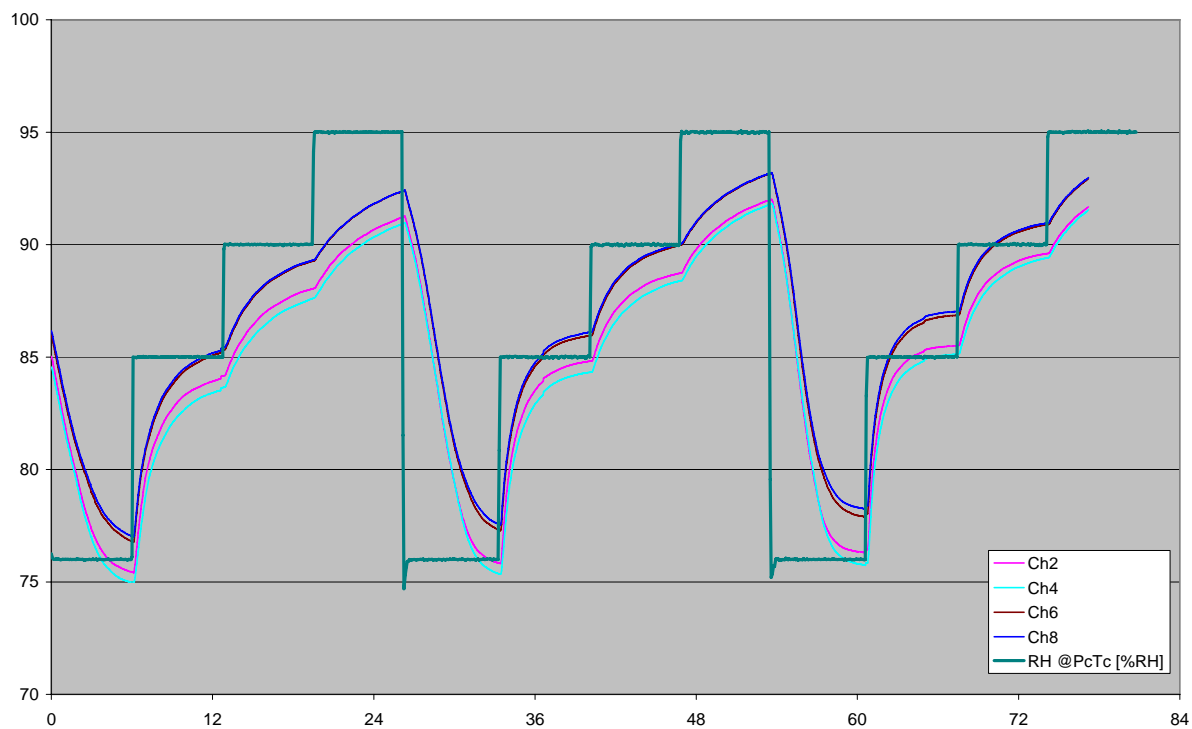


Figur 19. Uppmätta RF-värden vid kalibrering 2006-09-18.

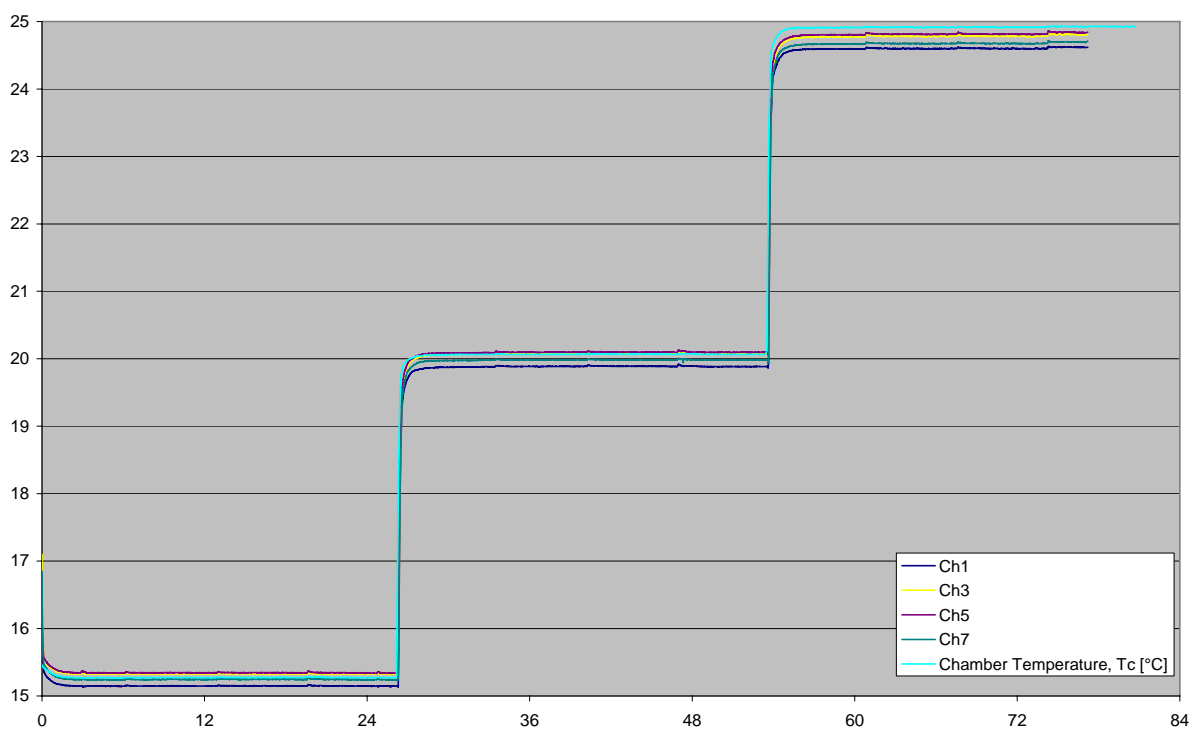


Figur 20. Uppmätta temperaturer vid kalibrering 2006-09-18.

## Kalibrering Humi-Guard 75,85,90,95 %RF vid 15,20,25°C



Figur 21. Uppmätta RF-värden vid kalibrering av Humi-Guard 2006-09-25.



Figur 20. Uppmätta temperaturer vid kalibrering av Humi-Guard 2006-09-25.