

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
FUKTCENTRUM VID LUNDS UNIVERSTIET
Avd Byggnadsmaterial & FuktCentrum

Trådlösa Fuktsensorer i Badrum

Del II: Mätningar i badrumsmockup

Eric Goddard

Lunds Tekniska Högskola

Byggnadsmaterial

Box 118

221 00 Lund

Tel: 046-2227415

Fax: 046-2224427

www.byggnadsmaterial.lth.se

www.fuktcentrum.se

Förord

Rapporten har tillkommit som ett examensarbete för kandidatexamen på civilingenjörprogrammet Väg och Vatten, Lunds Universitet. Rapporten är skriven på uppdrag av avdelningen för byggnadsmaterial LTH och danska Teknologisk Institut.

Skribenten vill ägna ett stort tack till handledare Anders Sjöberg och examinator Lars-Olof Nilsson, avdelningschef för byggnadsmaterial, för vägledning och goda råd.

Lund maj 2010

Eric Goddard

LTH, Lunds Universitet

Innehållsförteckning

Förord	3
Sammanfattning	5
Abstract	6
1. Inledning.....	7
1.1 Syfte	7
1.2 Bakgrund	7
1.3 Beslutsstöttningsystemet.....	7
2. Våtrum.....	9
3. Mätningar med trådlösa fuktsensorer	10
3.1 Noggrannhet på mätningar	10
3.2 Sensorns utformning och orientering	10
4. Badrums-mockuperna	12
5. Utförande.....	16
5.1 Mätserie 1	16
5.2 Mätserie 2.....	18
6. Resultat.....	19
6.1 Mätserie1	19
6.2 Mätserie 2.....	20
7. Slutsatser	24
7.1 Funktionalitet	24
7.2 Hur sensorerna reagerar	24
7.3 Beslutsstöttningsystemet	25
7.4 Sensorns placering.....	25
7.4.1 I stålregelvägg	25
7.4.2 I betonggolv.....	26
Referenser.....	27
Bilaga 1	28
Bilaga 2	35

Sammanfattning

Rapporten innefattar två stycken mätserier av utförda tester där funktionaliteten av ett system uppbyggt av trådlösa fuktsensorer testas. De trådlösa fuktsensorerna ger information om fukttillståndet inne i konstruktioner och förhoppningen är att ett trådlöst sensorsystem i framtiden ska kunna utgöra en varnare för fuktskador i byggnader. Problemen med fuktskador är störst i våtrum, varvid testerna har utförts på två stycken badrums-mockuper. Varje mockup har ett antal inbyggda fuktsensorer, fokuserade på områden där fuktskador ofta uppstår. Med hjälp av dessa fås sedan information om hur fukthalten inne i konstruktionen förändras med tiden. Testerna består av simulerade duschningar av badrums-mockuperna, både då tätskiktet är intakt och då skador fabricerats för att efterlikna verkliga fuktskador.

Informationen från sensorerna, som kontinuerligt skickas till en central lagringsenhet, består av mätningar både av temperatur och relativ fuktighet. Processen med att hantera och tolka mätdata från sensorerna sköttes manuellt under arbetets gång, men i framtiden krävs det att denna process automatiseras så att ett effektivt beslutstöttningsystem kan varna då fara för fuktskada föreligger.

Fuktskadorna på badrums-mockuperna har fabricerats genom att borra hål genom tätskiktet och vi har i testerna sett hur sensorerna ger utslag på förhöjda relativ fuktighetsnivåer i två fall. Dels en momentan ökning då temperaturen inne i konstruktionen ökar på grund av att konstruktionen duschas med varmt vatten och dels en långsiktig ökning då tätskiktet är skadat och konstruktionen tillförs fukt vid duschning. Sensorerna har visat sig mycket väl kunna fungera som fuktvarnare, men det är viktigt att det framtida beslutstöttningsystemet kan skilja på de två beskrivna fallen och veta vilka RF-höjningar som kan förväntas även då tätskiktet är intakt.

Testerna har även gett information om var sensorerna bäst bör vara placerade för att ge information om fukttillståndet inne i konstruktionen. I konstruktioner med stålregelväggar har vi sett att sensorerna bör vara placerade så långt ner som möjligt på väggen och att en sensor kan upptäcka en fuktskada i stålregelfacket bredvid. Då sensorer placeras i betonggolv bör sensorerna spridas ut med ett mellanrum på cirka 50 cm och ytterligare koncentration kring infästningar genom tätskikt, såsom golvbrunnar.

Nyckelord: trådlösa, fuktsensorer, relativ fuktighet, våtrum, bygg, fukt

Abstract

This report covers two series of measurements taken during practical trials to test the functionality of a system of wireless moisture sensors. These sensors give information on the level of moisture found in the floor and walls. Hopefully in future a system based on wireless sensors will be able to give a warning for problems of damp in buildings. The main place where problems occur is in bathrooms, and that's why tests have been conducted on two mock-ups of bathrooms. Each mock-up has a number of in-built moisture sensors located in the primary positions where damage from damp is likely to occur. Using these sensors, information was gathered about how the moisture level inside the building materials changes over time. The tests consisted of simulations of showers in the bathroom mock-ups both with and without the surface waterproof seal intact. In the latter case, holes were made to recreate similar conditions to when damage from damp can occur in real life.

The information from the sensors, which was continuously transmitted to a central computer for storage, consisted of measurements of both temperature and relative humidity. The processing of the data collected was done manually during the trials, but in future, this processing will have to be automated so that an effective decision support system can give an early warning of problems from damp.

The damage from damp in the bathroom mock-ups has been caused by drilling holes through the surface seal and we have seen how the sensors give readings of higher relative humidity in two particular circumstances. Firstly, there is a temporary rise when the temperature inside the building material increases due to the surface being showered with warm water. Secondly, there is a long-term rise when the surface seal has been damaged and water from showering can penetrate below the surface. It has been demonstrated that the sensors could be used to warn about damp but it is important that a future decision support system can differentiate between the two above-mentioned cases and predict what kind of rises in relative humidity can be expected when the surface seal is still intact.

The tests have even shown where the best locations are to place the sensors in order to give information on the levels of damp inside the building material. In constructions with wall panels fixed to steel frames, we have observed that a sensor should be placed low down on the wall and that a sensor can discover damp in an adjacent panel. When the sensors are placed in a concrete floor, the sensors should be spread out with a distance of about 50 cm between them and with a high concentration clustered around features that are built into the surface seal such as drains.

Keywords: wireless, damp sensors, relative humidity, bathrooms, moisture

1. Inledning

1.1 Syfte

Syftet med arbetet är att fortsätta de undersökningar med trådlösa fuktsensorer som påbörjats av Arber Sulejmani och Bedri Sallova (2009) för att se om och i så fall hur de kan användas för att varna för fuktskador. Under arbetets gång hoppas testerna även ge svar på var sensorerna bäst bör vara placerade, på vilket avstånd ifrån en sensor som en fuktskada kan upptäckas samt hur många sensorer som kan tänkas behövas för att vara säker på att man har täckt fuktkänsliga områden.

1.2 Bakgrund

Bakgrunden till projektet kommer från alla de enorma ombyggnads- och reparationskostnader som byggindustrin årligen tampas med. Det kan handla om att man bygger på ett oprövat sätt där man ännu inte vet hur fukttekniskt säker metoden är eller att man bygger med beprövade metoder som man tror vet hur dem fungerar, men där det istället kan ha brustit i själva utförandet. Ofta visar sig skadorna inte förrän efter att konstruktionen använts en tid eller förrän konstruktionen utsatts för särskilt svåra förhållanden, som till exempel slagregn mot fasad. Därför har behovet av att långsiktigt kunna följa fukttillståndet inne i konstruktioner växt fram.

De trådlösa fuktsensorerna kan vara användbara informationsgivare både i fuktkänsliga delar av konstruktionen och i svåråtkomliga områden som är svåra att övervaka under bruksskedet. Sensorerna sänder kontinuerligt ut information om rådande temperatur och relativ luftfuktighet, vilken sedan tas emot av en mottagare och lagras. Sensorerna kan spridas ut så att de ger en heltäckande bild av fukttillståndet i konstruktionen, företrädesvis med en högre koncentration av sensorer kring känsliga områden som till exempel golvbrunnar, infästningar genom tätskikt eller anslutning mellan vägg och golv.

1.3 Beslutsstöttningsystemet

En framtida frågeställning är hur den information som sänds ut från de trådlösa sensorerna ska tolkas på ett smidigt sätt och när i så fall systemet ska varna för en eventuell fuktskada. I de utförda testerna i arbetet tolkas informationen manuellt medan man i en lyckad produkt skulle behöva någon form av program som tolkar informationen och automatiskt varnar då fara för fuktskada föreligger. Då man övervakar stora system av trådlösa sensorer blir det mycket information som måste lagras och då har tanken väckts om att sensorerna, med hjälp av ett inbyggt system, själv skulle kunna varna för fuktskador så att lagringsbehovet undviks. Med den teknik som finns idag ses detta dock inte som en möjlighet eftersom sensorerna då skulle bli för avancerade, ta för stor plats och bli för dyra i styckpris. Lösningen anses därför finnas i små och billiga sensorer som kan placeras ut i konstruktioner och övervaka fukttillståndet

över lång tid utan att man förväntar sig att återhämta sensorn efter brukstiden. Sensorn behöver ha ett batteri som gärna håller minst 10 år och inte kräver något underhåll under tiden.

Tolkning och analys av informationen från de trådlösa sensorerna bör istället skötas av en central enhet som löpande tar emot information från större system av trådlösa sensorer. Utvecklingen av ett program som ska tolka informationen från de trådlösa sensorerna ingår dock inte i detta arbete. Här avses endast att bedöma funktionaliteten och utförandet av det system med trådlösa fuktsensorer som idag finns att tillgå. Mätdata analyseras därför manuellt med hjälp av Excel där variationerna i temperatur och relativ fuktighet för varje sensor illustreras grafiskt i rapportens bilagor.

2. Våtrum

Våtrum inkluderar dusch- och badrum, toaletter samt tvättstugor. Dessa utrymmen behöver vara speciellt anpassade för att klara de höga fuktnivåerna, vilket också innebär att skador eller förslitningar på tätskiktet kan få förödande konsekvenser. Våtrumskonstruktioner har ofta ett skyddande ytskikt bestående av kakel eller plastmattor. I fogmassan mellan kakelplattorna kan det ibland tränga igenom fukt, varvid det ställs höga krav på det underliggande tätskiktet. Tätskiktet är det skikt som skyddar bakomliggande, ofta fuktkänsliga delar av konstruktionen, från att komma i kontakt med fukt. Exempel på tätskikt i våtrum är fästmassa som spacklas på. De skador på tätskiktet som ofta uppkommer har att göra med otätheter kring genomgående installationer, otätheter kring golvbrunn, skador som orsakats av brukaren eller deformationer som uppkommit med tiden.

Under tätskiktet finns den bärande konstruktionen som i Sverige ofta består av betong, lättbetong eller trä. Trä är ett ytterst fuktkänsligt material som sväller vid kontakt med fukt, vilket kan orsaka belastningar på fogar och rör genomföringar som gör att tätskiktet skadas och fukt skador uppstår. Fukt medför även att träets hållfasthet blir avsevärt mindre med tiden och att det börjar mögla med följd att hälsofarliga emissioner kan avges.

Betong i sig är inget fuktkänsligt material men då fukt har passerat genom tätskiktet ner i betongen kan det sedan transporteras vidare till fuktkänsliga material. Betongen måste vara uttorkad till 85 % RF innan man får applicera en ytbeläggning (Sallova & Sulejmani, 2009). Här kan trådlösa fuktsensorer vara till stor hjälp för att övervaka uttorkningsförloppet i betongen eftersom man härmed undviker oönskade konstruktionsingrepp.

Byggbranschen har problem med tillförsel av fukt både under byggproduktionen och under bruksskedet. Här kan sensorerna ge information både under och efter byggnation. Byggföretagen skulle kunna upptäcka förhöjda fuktnivåer i konstruktioner under ett tidigare skede och slippa åka dit för dyra ersättnings- och renoveringskrav då skadan blivit utbredd. De trådlösa fuktsensorerna kan även fungera som en säkerhet för brukaren eftersom den då vet att fuktnivåerna kontrolleras och att byggföretagen tar sitt ansvar även efter byggnationen.

3. Mätningar med trådlösa fuktsensorer

De trådlösa fuktsensorer som används i denna studie ger kontinuerlig information om fuktnivåerna i konstruktionen genom att mäta temperatur och relativ fuktighet. Relativ fuktighet är ett mått på hur mycket fukt (vattenånga) som finns i luften jämfört med den mängd som luften maximalt skulle kunna innehålla, den så kallade mättnadsånghalten. Då luftens temperatur ökar, ökar även mättnadsånghalten. Då temperatur och relativ fuktighet är känt kan mättnadsånghalt och rådande ånghalt beräknas med hjälp av följande ekvationer:

$$\begin{array}{lll} \text{Mättnadsånghalt:} & c_{sat} = e^{a-\frac{b}{T}} & [\text{g/m}^3] \\ \text{Ånghalt:} & c = RF \times c_{sat} & [\text{g/m}^3] \end{array}$$

Där temperaturen, T, mäts i kelvin och där konstanterna a,b ges av följande tabell:

	> 0 ° C	< 0 ° C
a	20,11	23,08
b	5061	5872

3.1 Noggrannhet på mätningar

Eftersom de trådlösa fuktsensorerna kan användas i många olika sorters situationer finns det olika behov på hur noggranna mätningarna behöver vara. I de allra flesta fall rör det sig om att följa uttorkningsförlopp eller förändringar i fuktinnehåll där exakta värden inte är av största vikt utan istället att följa själva fuktförändringen. I en rapport utförd vid Lunds Universitet beskrivs hur en felmarginal av relativ fuktighet på 3-5 % är acceptabelt (Sjöberg & Blomgren, 2004). För vissa mätningar är dock behovet av ett exakt mätvärde större, till exempel då leverantören eller byggföretaget har särskilda krav från kunden som behöver vara uppfyllda eller att man ska lägga tät matta på betong.

3.2 Sensorns utformning och orientering

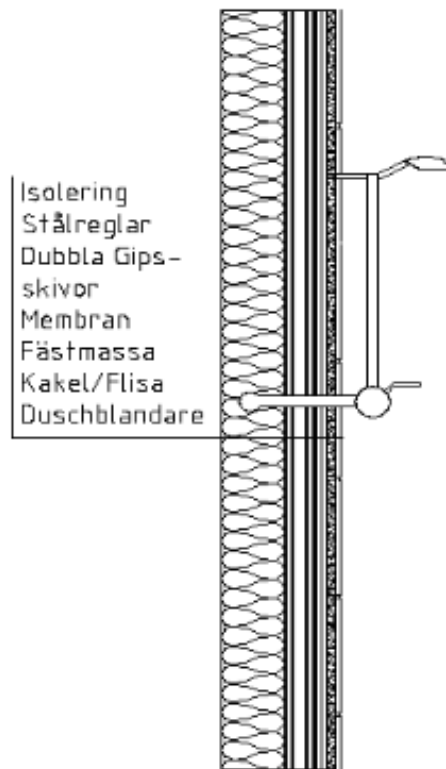
Sensorn som används i denna studie består av en behållare innehållande fuktsensor, batteri och antenn. På den ena sidan av behållaren finns en liten öppning som utgör kontakten med omgivningen. Öppningen är täckt med en tunn filt för att elektroniken inuti inte ska komma till skada eller utsättas för fritt vatten. Vid Lunds Universitet har det utförts en studie för att visa hur sensorn bäst bör vara placerad i betonggolv för att ge en mätning med så stor noggrannhet som möjligt. Att placera sensorn med öppningen på sidan visade sig vara det som gav bäst noggrannhet med ett mättningsfel i storleksordningen mindre än 1 % RF. Detta kan jämföras med det mättningsfel på större än 10 % RF då sensorn placeras med öppningen nertill (Nilsson & Fredlund, 2009).



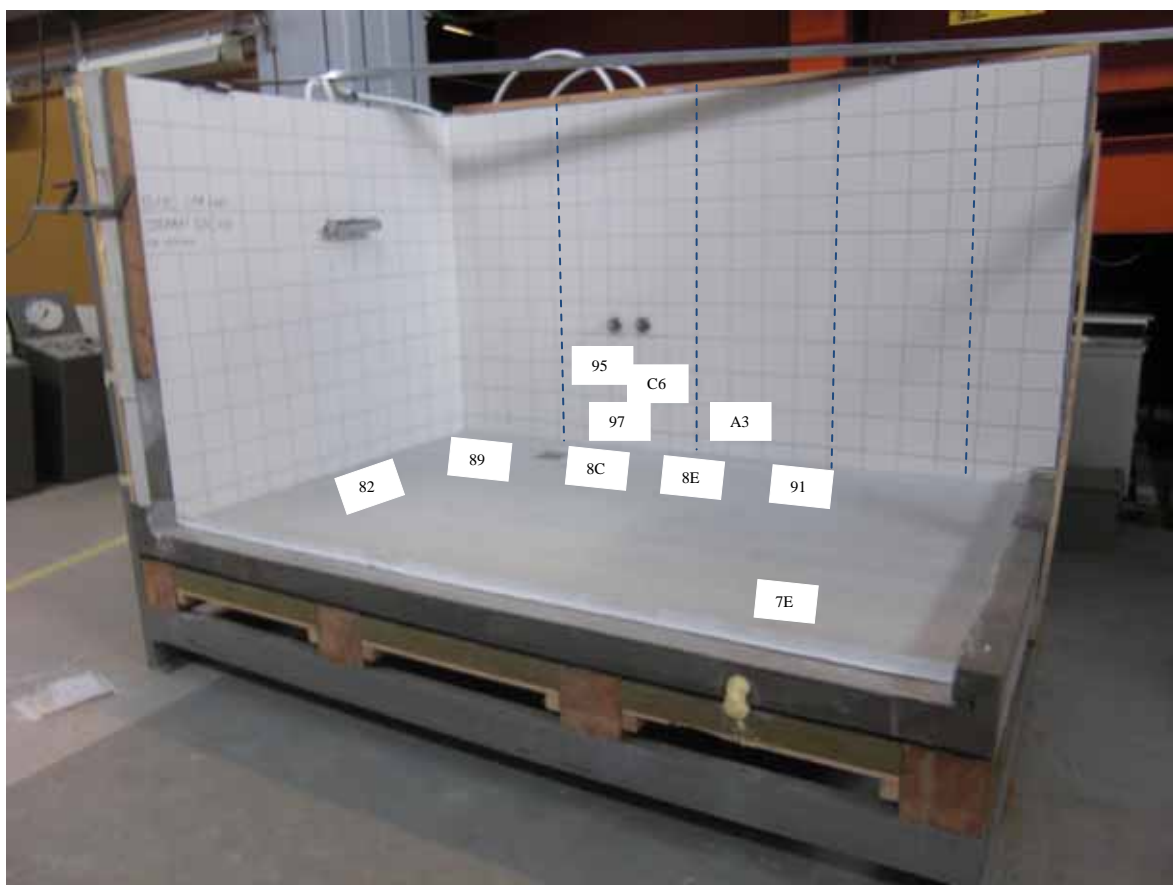
Figur 1: Behållare innehållande fuktsensor, batteri och antenn

4. Badrums-mockuperna

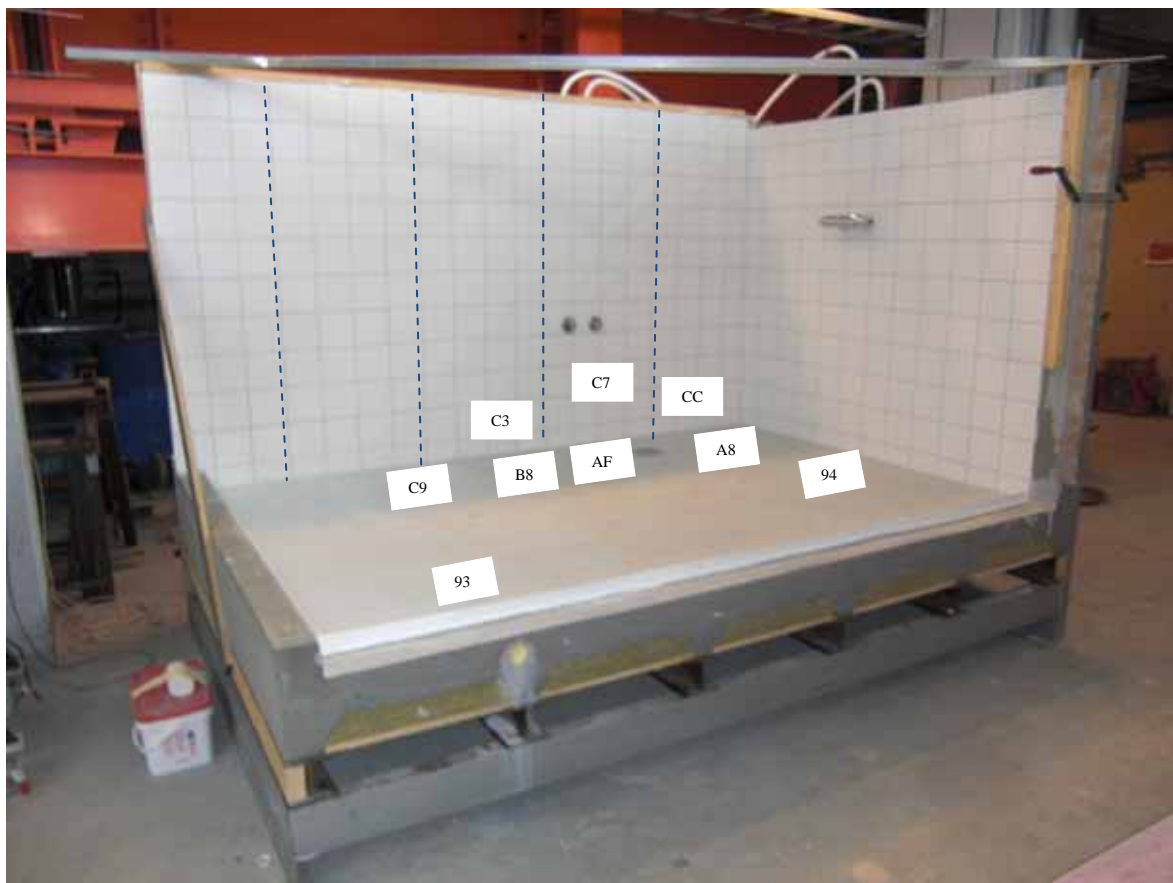
De två badrums-mockuperna bestod av varsin stålregelvägg och betongplatta. Man valde stålregelväggar eftersom projektet drevs av en dansk byggorganisation och stålregelväggar är det mest förekommande sättet att bygga med i Danmark. Båda badrums-mockuperna utrustades med duschblandare och fungerande golvbrunn för att simulera funktionen av ett riktigt badrum.



Figur 2: Utformning av stålregelväggarna i badrumsmockuperna (Sallova & Sulejmani, 2009)



Figur 3: Den vänstra badrumsmockupen med läget för de inbyggda sensorerna markerade



Figur 4: Den högra badrumsmockupen med läget för de inbyggda sensorerna markerade

Sensorerna i stålregelväggarna placerades koncentrerade kring duschinfästningarna och nära golvbrunnen eftersom det är här fuktskador oftast uppkommer. Några sensorer placerades även i stålregelsfacken bredvid duschinfästningarna för att se hur långt ifrån en eventuell fuktskada som sensorerna kunde ge utslag. I facket med duschinfästningen placerades sensorerna med en viss höjdvariation för att få svar på var sensorerna snabbast gav utslag vid en fuktskada. Sensorerna lades löst i mineralullen direkt mot gipsskivan eller kalciumsilikatskivan så att sensors öppning hamnade mot sidan.



Figur 5: Sensors placering i stålregelvägg

De två betongplattorna skiljde sig en del i utförandet. Den vänstra mockupen bestod av en betongplatta som vilade på en trapetsplåt med underliggande träbjälklag och mineralullsisolering. På betongplattan låg ett spacklat tätskikt med kakel ovanpå.

Den högra mockupen hade istället en betongplatta som vilade direkt på ett stålbjälklag med mellanliggande mineralullsisolering. Eftersom denna konstruktion inte var försedd med en täckande trapetsplåt under betongplattan förmodades uttorkningen av betongen kunna ske snabbare i den högre mockupen.



Figur 6: Den vänstra mockupens golvkonstruktion



Figur 7: Den högra mockupens golvkonstruktion

Då de båda badrums-mockuperna först utformades göts ett tiotal trådlösa fuktsensorerna in i varje betongplatta. De flesta av sensorerna skadades vid ingjutningen och de övriga förlorades kontakten med på grund av att batteriet tog slut i förtid. Därför var man tvungen att komma på en annan lösning och borrade istället hål från kanterna in i den färdiggjutna betongplattan. Sensorerna placerades sedan i de borrade hålen med sensorns öppning riktad in mot badrummet.



Figur 8: Sensorns placering i betongplatta

De borrade hålen sträckte sig 35 cm in i betongplattan och de var borrade på en sådan höjd att sensorns mitt hamnar ca 60 mm ner från betongplattans övre kant. Efter att sensorn placerades in fylldes det borrade hålet med expanderande fogs-kum. En tät miljö skapades där sensorn ställde in sig till betongens rådande klimat. Det fanns sex stycken sensorer utplacerade i varder betonggolvet. De var utspridda över hela plattan men med något tätare koncentration kring golvbrunnen eftersom det är här de flesta fuktskador uppkommer, se figur 3 och 4.

5. Utförande

De tidigare delarna av projektet gick ut på att få sensorerna att fungera och att framgångsrikt leverera utdata till mottagaren då sensorerna är inbyggda i konstruktionen.

I detta arbete återstår att testa funktionaliteten av ett varningssystem med trådlösa fuktsensorer. Först vill vi undersöka hur sensorerna reagerar på en duschning av badrummet då tätskiktet är intakt och sedan vill vi undersöka hur sensorerna varnar då det uppkommit en fuktskada på grund av ett läckage i tätskiktet. Vi utförde två stycken mätserier. Den första där mockuperna var oskadade sånär som på två hål i tätskiktet på den ena stålregelväggen. I den andra mätserien inkluderas ett skadat tätskikt i den andra mockupens betonggolvet.

Mellan de två mätserierna var en del sensorer tvungna att skickas iväg på batteribyten och reparation. Alla sensorer i golvet på den vänstra mockupen samt en sensor i golvet på den högra skickades iväg. Felet bestod antingen i att sensorernas batteri hade tagit slut eller att sensorerna visade 100 % RF oavsett rådande klimat. För att batteriet skulle hålla längre under den andra mätserien bestämdes att inte ändra intervalltiden med vilken sensorn sänder ut information. Intervalltiden 296 sekunder användes alltså även under duschningarna, vilket inte hade någon påverkan på kvalitén av testerna eftersom vi var intresserade av de långsiktiga förändringarna.

5.1 Mätserie 1

Den första mätserien som genomförs innefattar tre stycken duschningar och utförs endast på den vänstra badrums-mockupen. Till en början är konstruktionen helt intakt och fungerar ur fuktighetssynpunkt som ett helt tätt badrum. Duschningarna utförs genom att i 15 minuter spola 53°C varmt vatten på både väggar och golv. Vi spolade vatten på hela våtrumsområdet, men för att efterlikna en verklig duschning koncentreras spolningen till området kring duschblandaren och golvbrunn.

Sensorerna sänder vanligtvis ut mätdata med ett intervall på ca 5 min (296 sek). För att kunna följa förloppet vid duschningarna noggrannare ställs sensorerna om till att sända ut information var 18 sek. Precis efter mätningarna ställs intervalltiden tillbaka till 296 sek.

Den första av de tre duschningarna i mätserien utfördes den 18 januari 2010. På grund av att nedförseln till brunnen var dålig blev vatten stående några centimeter i ca 2 timmar efter det att duschningen hade upphört. Några dagar efter duschningen analyserades mätdata där uttorkningsförloppet för badrums-mockupen följdes. Den 26 januari ansågs uttorkningsförloppet av intresse efter den första duschningen vara förbi och en andra duschning utfördes för att kunna jämföra med den första.

Efter att ha tolkat resultaten från de två första duschningarna och sett hur sensorerna reagerade bestämdes det för att utföra en tredje duschning. Denna gång fabricerades en fuktskada på väggens tätskikt precis ovanför duschblandaren. Två stycken 4-mm stora hål

borrades i kakelfogen ca 30 mm in i väggkonstruktionen så att det täta membranet penetrerades ovanför fästet till blandaren på drygt 1 meters höjd.



Figur 9: Fabricerad fuktskada ovanför duschinfästningen på den vänstra badrumsmockupen

Nu kunde fukt transporteras till de inre delarna av konstruktionen. En tredje duschning utfördes och uttorkningsförloppet följdes några dagar efter avslutad spolning. Mätdata finns redovisat i bilaga 1.

5.2 Mätserie 2

Efter en lyckad första mätserie på den vänstra mockupen utökades testerna till att även inkludera den högra mockupen där väggens tätskikt fortfarande var intakt, men där en fuktskada fabricerades i golvet tätskikt. Skadan utfördes genom att borra ett 5-mm stort hål genom tätskiktet precis vid golvbrunnen.



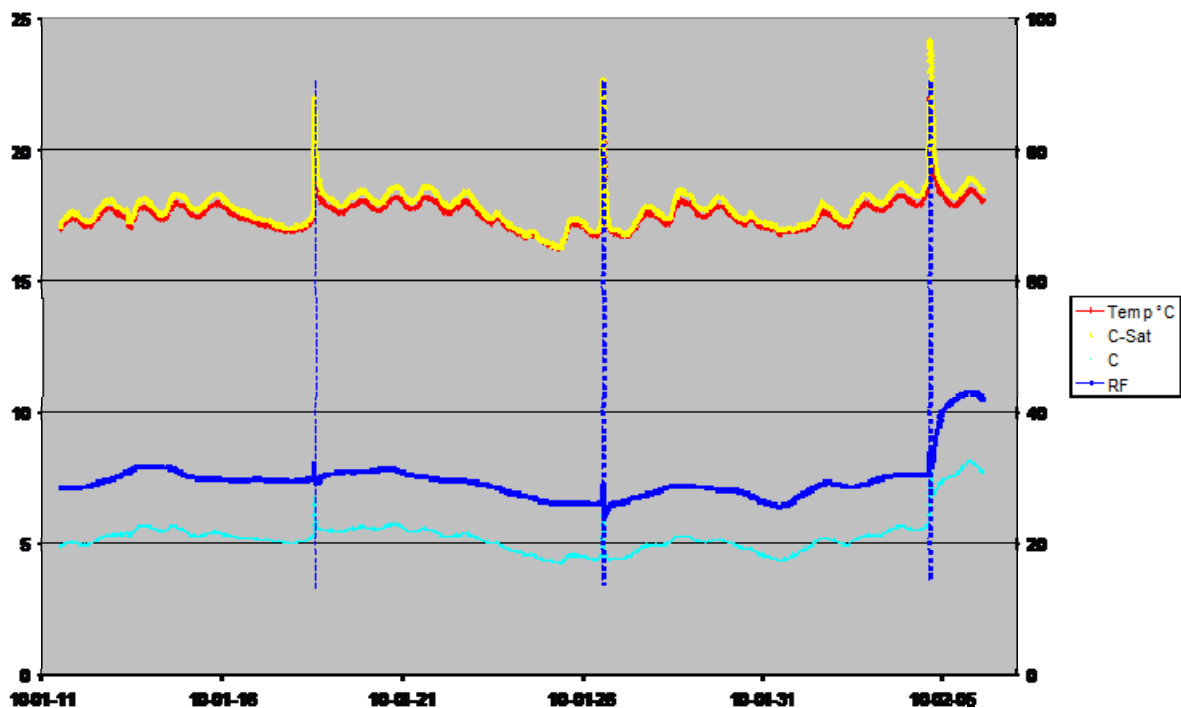
Figur 10: Fabricerad fuktskada intill golvbrunnen på den högra badrumsmockupen

I mätserie 2 bestämdes att testerna skulle simulera de verkliga förhållanden som ett badrum i ett bostadshus kan utsättas för och därför utfördes duschningar varje dag, måndag till fredag i en vecka. Duschningarna utfördes genom att spola i 15 minuter på vardera mockup; den vänstra med skadat tätskikt i väggen och den högra med skadat tätskikt i golvet. Den 1-5 mars ägde spolningarna rum och resultatet finns redovisat i bilaga 2.

6. Resultat

6.1 Mätserie1

Under mätserie 1 fanns ingen kontakt med varken sensor 82 eller sensor 91 i golvet på den vänstra mockupen. Den första veckan av mätserien utfördes inga duschningar och vi följde istället hur temperaturen inne i konstruktionen varierar med lufttemperaturen. Samtliga resultat från mätserie 1 finns redovisade i Bilaga 1.



Figur B1:7 \Rightarrow Sensor 95, vägg vänster

Vid den första duschningen såg vi hur sensorerna tydligt gav utslag på att temperaturen höll på att höjas inne i konstruktionen. Såväl sensorerna i väggen som i golvet kände av förändringen då vi spolade med det varma vattnet. Temperaturen steg inne i konstruktionen och fick till följd att mer fukt från materialen inne i konstruktionen kunde förångas och lösa sig i luften. Vi såg alltså både en ökning av temperatur och RF. Sensorerna visade på en temperaturökning inne i konstruktionen på cirka 3-5°C. Relativa fuktigheten steg några procent i väggen medan den i golvet endast steg ca 0,5 % . Vissa av sensorerna (8E,7E) i golvet visade på relativa fuktighetsnivåer på 100 % . Detta troddes vara en missvisande siffra som berodde på att sensorn varit ur funktion efter att ha kommit i kontakt med fritt vatten eller eventuellt att sensorns skyddande duk med tiden tagit skada så att fukt kommit in i sensorn. Vi såg även hur mätnadsånghalten och ånghalten inne i konstruktionen ökade vid duschning. Detta är en direkt följd av att temperaturen ökade.

När vi följde uttorkningsförloppet efter den första duschningen såg vi hur de momentana ökningarna av temperaturer och RF återgick till dess ursprungliga nivåer efter några timmar. Då tätskiktet var intakt fick vi alltså inte fått någon tillförsel av fukt inne i konstruktionen.

Den andra duschningen i mätserien utfördes under samma förutsättningar som den första. Här kunde vi precis som innan följa hur RF momentant ökade på grund av temperaturökningen vid duschning, för att sedan återgå till dess ursprungliga nivå någon timme efter spolning. För de sensorer som låg längst ifrån golvbrunnen märktes temperaturökningen inte av lika mycket under den andra duschningen i mätserien som under den första, det vill säga topparna på kurvan blev inte lika höga. Det berodde på att vatten endast blev stående under den första duschningen och därför utsattes sensorerna i golvet för en större temperaturökning här än under de resterande duschningarna. Sensor 8C upphörde på grund av dåligt batteri med att sända ut mätdata.

Den tredje spolningen utfördes då väggens tätskikt var skadat. Vi såg då samma momentana förhöjningar av temperatur och RF inne i konstruktionen som vid de två första spolningarna, med skillnaden att det var kvarvarande stigande fuktnivåer efter det att spolningen upphörde och temperaturökningen återställdes. Relativ fuktighet och ånghalt fortsatte att öka även efter duschning eftersom fukt hade tagit sig igenom det skadade tätskiktet. Fukten bestod av både vattenånga och fritt vatten som spolades på väggen och kom in genom fuktskadan. Fuktnivåerna fortsatte att öka, då fukten spred sig inne i konstruktionen, tills ett maximum nåddes cirka ett dygn efter duschningen. Sedan började konstruktionen torka ut och fuktnivåerna sänktes.

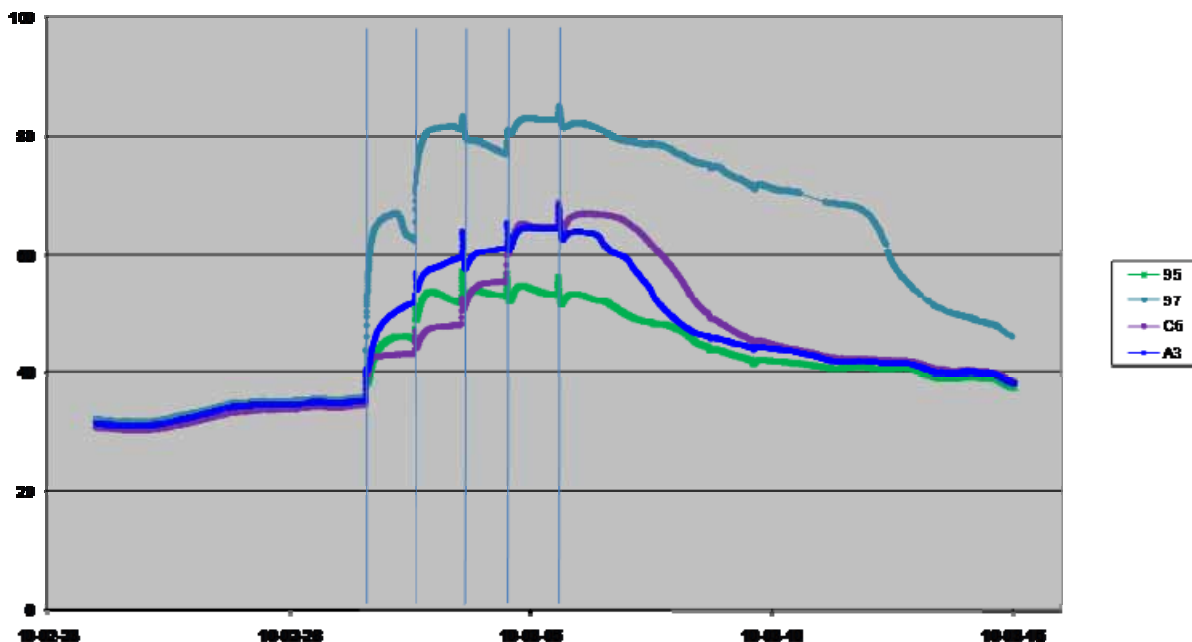
Intressanta iakttagelser var att sensor A3 som monterades i stålregelfacket bredvid den fabricerade fuktskadan, även den registrerade de på grund av vattenskadan förhöjda fuktnivåerna och att de sensorer i väggen som placerades längst ner i facket med fuktskadan tydligare märkte av de förhöjda fuktnivåerna än de sensorer som placerades närmre, men högre upp i facket.

Innan den tredje duschningen förlorades kontakt med sensor 89 i golvet.

6.2 Mätserie 2

Inför duschningarna i mätserie 2 skickades de sensorer som inte fungerade iväg för reparation och batteribyte. De sensorer som byttes inkluderade samtliga sensorer i golvet på den vänstra mockupen samt sensor 94 i golvet på den högra mockupen. Då mätningarna inleddes den 24 februari hade de nya sensorerna endast placerats i de borrhålen i betonggolven, det vill säga utan att byggsaum sprutades in för att tätta hålen. Den plötsliga ökning av relativ fuktighet som registrerades för dessa sensorer cirka ett dygn efter påbörjad mätserie berodde därför på att byggsaum sprutades in i hålen och att sensorerna höll på att ställa in sig till det i betongen rådande klimatet. Då duschningar inleddes höll de utbytta sensorerna fortfarande på att ställa in sig till det rådande klimatet. Detta troddes inte påverka resultatet eftersom det till störst del berörde golvet i den vänstra mockupen, där tätskiktet fortfarande var intakt och

endast utgörde referensmaterial för att kunna jämföra fuktutvecklingen med det skadade tätskiktet i golvet på den högra mockupen.



Figur B2:13 \Rightarrow Sammanställning RF, vägg vänster

I väggen med det skadade tätskiktet såg vi precis som vid den tredje duschningen i mätserie 1 hur temperatur och relativ fuktighet ökade momentant under duschning för att sedan bibehålla ökande fuktnivåer efter det att duschning upphörde. Duschningarna utfördes med cirka ett dygns mellanrum och efterhand som varje duschning utfördes, tillfördes konstruktionen mer och mer fukt genom det skadade tätskiktet. Sensor 95 och 97 i väggen på den vänstra mockupen visade tendenser till att konstruktionen hann torka ut något under dygnet tills nästa spolning utfördes som återigen höjde fuktnivåerna. Samma sensorer visade på hur någon form av maximala fuktnivåer nåddes efter cirka 2-4 spolningar. Efter detta fortsatte RF att öka momentant vid duschning till följd av att temperaturen ökade, men återgick sedan till de maximala nivåerna då duschningen hade upphört. För de två övriga sensorerna i väggen på den vänstra mockupen fortsatte fuktnivåerna att stiga efterhand som duschningarna utfördes. Konstruktionen fick sedan tid att torka ut och vi såg i slutet av mätserien hur fuktnivåerna i princip återgick till normala nivåer.

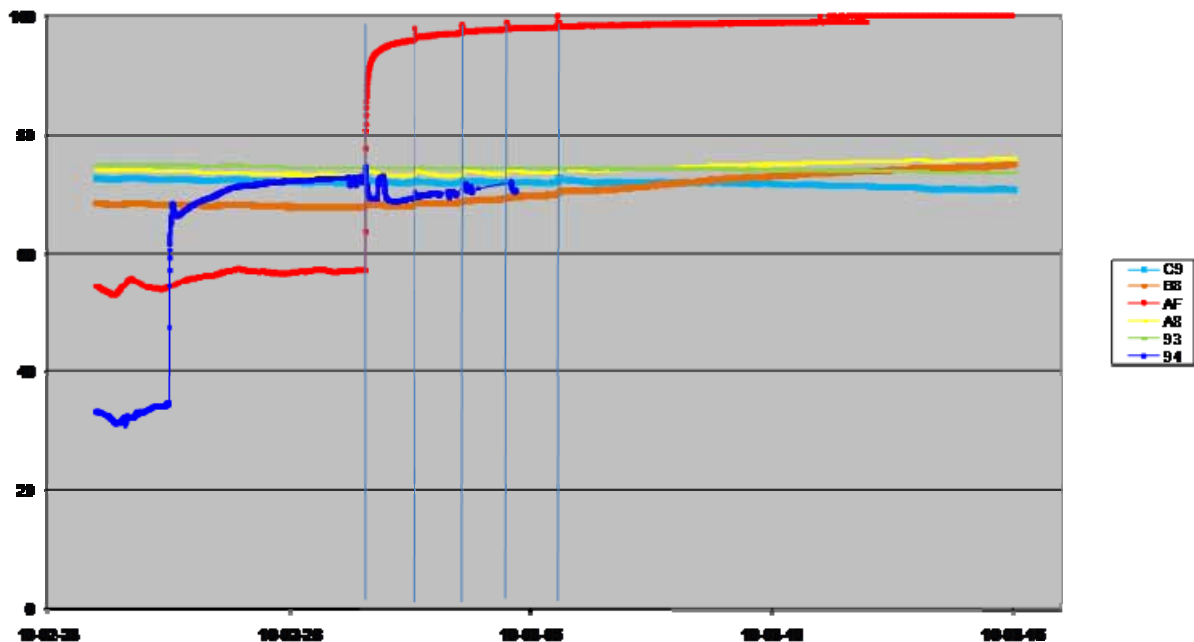
Precis som vid den tredje duschningen i mätserie 1 såg vi också hur det var de sensorer som var placerade längst ner på väggen som tydligast märkte av de ökade fuktnivåerna. Sensor A3 i facket bredvid fuktskadan märkte alltså tydligare av att tätskiktet var skadat än sensor 95 som placerades närmre fuktskadan men högre upp på väggen.

Sensorerna i golvet på den vänstra mockupen höll som sagt var fortfarande på att ställa in sig till rådande klimat i betongen under mätserie 2. Vi såg dock hur relativ fuktighet nivåerna lade sig någonstans mellan 93-97 % RF med undantag för sensor 8C som visade på cirka 82

% RF. Eftersom betonggolvet i den vänstra mockupen hade en trapetsplåt på undersidan som hindrade uttorkningen troddes RF-nivåer på mellan 93-97 % stämma trots att betongen gjutits för cirka ett år sedan. De lägre RF-nivåerna för sensor 8C troddes ha att göra med att sensorn låg närmast golvbrunnen och därmed haft större möjlighet till uttorkning.

Figur B2:21 \Rightarrow Sammanställning RF, golv höger

På den högra mockupen var väggens tätskikt intakt medan golvets tätskikt var skadat. Här kunde vi följa hur sensorerna i väggen reagerade på duschningarna, men där RF- och temperaturnivåerna återgick till sina ursprungliga värden efter varje spolning. I det skadade golvet såg vi hur sensor AF som var närmast fuktskadan vid golvbrunnen tydligt märker av att vatten tagit sig igenom tätskiktet. Relativa fuktigheten steg här från ca 57 % upp till ca 95 % för att under de efterföljande duschningarna stiga ända upp till 100 %. Vi såg alltså en tydlig uppfuktning av betongen på ett avstånd av 10 cm från vattenskadan. De sensorer (A8, B8) som låg på ett avstånd av cirka



60 cm märkte, om än inte lika tydligt som sensor AF, även de av fuktskadan. De visade hur en ökning av relativa fuktigheten sakta tog fart efter den första duschningen för att sedan fortsätta att öka då duschningarna upphörde eftersom fukt fortfarande vandrade från de uppfuktade områdena av betongen kring fuktskadan till de torrare delarna av plattan. För sensor B8 registrerades en stigning från cirka 70 % till 75 % RF medan sensor A8 registrerade en stigning från cirka 73 % till 75 % RF.



Figur 11: Illustration av avstånd från sensorer till fuktskada i golvet på den högra badrumsmockupen

Sensor 93 och C9 befann sig för långt ifrån vattenskadan för att ge något utslag. Avståndet var helt enkelt för långt för att effekterna från vattenskadan skulle kunna sprida sig dit. Vi kunde istället följa hur betongen fortfarande höll på att torka ut i dessa områden. Med en relativ fuktighet på cirka 73 % såg vi hur betonggolvet i den högra mockupen hunnit torkas ut ca 20 % mer än betonggolvet i den vänstra. På den högra mockupen fanns ingen underliggande trapetsplåt som hindrade uttorkningen nedåt. Betongplattan låg istället direkt på regler med omgivande mineralull och var därmed fri att torka ut. Precis som i betongplattan på den vänstra mockupen visade den sensor som var närmast golvbrunnen, sensor AF i detta fall, på lägre relativ fuktighet i betongen än övriga sensorer. Med en relativ fuktighet på ca 57 % före det att duschningarna påbörjades visade denna sensor på en cirka 16 % lägre RF än övriga sensorer i den högra betongplattan. Detta troddes precis som innan bero på att sensorn fick chans att torka ut intill golvbrunnen.

Sensor 94 höll i början av mätserien på att ställa in sig till betongens rådande klimat, varefter leveransen av mätdata sedan blev bristfällig tills kontakten med sensorn helt upphörde.

7. Slutsatser

7.1 Funktionalitet

Sensorerna har visat sig kunna ge noggrann information om fukttillståndet inne i en konstruktion och på ett bra sätt illustrera de förändringar i fuktinnehåll som sker. Funktionaliteten har i vissa fall varit bristande då en del av sensorerna under arbetets gång drabbats av batteri förluster och varit tvungna att skickas iväg för reparation. En del sensorer har även haft problem med att visa korrekta RF-nivåer eftersom de förmodligen kommit tillskada av fritt vatten och därmed visat på 100 % RF.

Det är förhållandevis enkelt att byta ut sensorerna i badrumsmockuperna, men det verkliga systemet kommer inte att se ut som det gör nu eftersom sensorerna kommer att vara ingjutna i betonggolvet eller placerade på svåråtkomliga ställen i konstruktionen. Därför kan man inte räkna med att komma åt sensorerna under brukskedet, vilket gör att den nuvarande batteritiden på ca 6-12 månader blir ytterst bristfällig. Batteritiden har även visat sig bero på med vilket intervall som sensorerna sänder ut information och hur ofta denna intervalltid byts. För ultimata optimering bör intervalltiden inte ändras under sensorns livslängd. En del sensorer har även drabbats av väldigt plötsliga och stora batteriförluster, vilket tros bero på att det varit svårt för sensorns signaler att nå fram genom betongen till den centrala lagringsenheten.

Processen från inhämtning av mätdata från den centrala lagringsenheten till färdig grafisk illustration av sensorernas temperatur- och fuktvariationer har varit en väldigt tidskrävande process. Det har krävts mycket arbete i Excel med att hantera sensorernas information så att resultaten kan tolkas. I ett färdigt trådlöst sensorsystem krävs det att denna hantering blir automatiserad så att informationen kan tolkas antingen av en mänsklig kontrollant eller av ett datorprogram som automatiskt varnar då fara för fuktskada föreligger.

7.2 Hur sensorerna reagerar

Sensorerna visade stora utslag i RF vid två olika situationer.

Det ena fallet var när konstruktionens temperatur höjdes tillfälligt i samband med dusch. Då har vi sett att vi får en momentan ökning av både temperatur och RF. Temperaturökningen beror på att vi spolar med varmt vatten på konstruktionen och RF-ökningen är en direkt följd av temperaturökningen. Fukt från material inne i konstruktionen förångas och på så sätt ökas fuktinnehållet i luften. Detta ger sensorerna utslag på och då tätskiktet är intakt återgår denna effekt någon timme efter duschning eftersom konstruktionen fått svalna av.

Det andra fallet är då vi har ett skadat tätskikt. Då ser vi hur RF ökar även efter det att duschning upphört eftersom konstruktionen tillförts fukt genom det skadade tätskiktet. Fukten

får tid att sprida sig i konstruktionen och då flera duschningar utförs fortsätter konstruktionen att uppfuktas.

7.3 Beslutstöttningsystemet

Den stora utmaningen för beslutstöttningsystemet som ska varna för fuktskador är att skilja på de två ovanstående fallen; dels plötsliga momentana förändringar som är temperaturberoende och dels långvariga uppfuktningförlopp som beror på en fuktskada. Det färdiga system som i framtiden ska varna för fuktskador behöver därför jämföra fuktförändringar med temperaturförändringar för att utvärdera ifall det är något mer än en momentan utveckling. Beslutstöttningsystemet behöver även ha ett visst form av minne och en historik som känner till vilka fuktnivåer konstruktionen förväntas ligga på och hur stora de momentana förändringar som sker även då tätskiktet är intakt kan förväntas vara. Då det är en mänsklig kontrollant som ska tolka informationen från sensorerna anses denna ha tillräcklig expertis för att utföra bedömningen, men då sensorsystemen blir alltför stora och innefattar många byggnader eller konstruktioner kan bedömningen bli alltför mödosam, vartefter ett automatiskt datorprogram krävs som tolkar informationen.

7.4 Sensors placering

7.4.1 I stålregelvägg

Testerna har visat att de sensorer som placeras i regelväggar med mellanliggande isolering bör placeras så långt ner på väggen som möjligt. De sensorer som placerats långt ner har i testerna tydligare kunnat registrera effekterna från den fabricerade fuktskadan än de sensorer som varit placerade närmast fuktskadan men högre upp. Vad detta beror på är hittills oklart men tros bero på att fukt tar sig igenom tätskiktet i form av både vattenånga och fritt vatten. Det fria vattnet kan rinna ner längs gipsskivorna medan vattenångan kan kondenseras när den träffar på mineralullen och sedan rinna neråt i konstruktionen. Den största delen av fukten ansamlas alltså längst ner i konstruktionen, vartefter de sensorer placerade längst ner ger störst utslag.

Testerna har även visat att då väggkonstruktionen består av stålreglar går det att upptäcka en fuktskada även med en sensor placerad i facket bredvid fuktskadan. Detta beror på att det finns vissa håligheter i stålreglarna som fukt kan transporteras genom. För bäst resultat räcker det alltså med att placera sensorer långt ner i facket och i vart tredje fack.



Figur 12: Håligheter i stålregelvagg där fukt kan passera

7.4.2 I betonggolv

För sensorer som placeras i betonggolv har testerna visat att trådlösa fuktsensorer även här kan vara ett tillförlitligt varningssystem. Den sensor som placerades precis intill den fabricerade fuktskadan vid golvbrunnen gav tydligast indikation på att det förelåg en fuktskada genom plötsliga höjningar av RF. De sensorer som låg på ett avstånd av cirka 60 cm från fuktskadan visade sig också kunna indikera på att en fuktskada förelåg, men här var fuktutvecklingen långsammare och krävde en mer långsiktig övervakning. Sensorer som låg på ett avstånd på cirka 80-110 cm visade sig inte kunna varna för fuktskadan eftersom effekterna av den inte spred sig hit. För att vara säker på att man har ett tillförlitligt system av fuktvarnare i betonggolv bör man alltså sprida ut sensorerna med ett avstånd på cirka halvmeter från varandra, samtidigt som man har en högre koncentration av sensorer kring känsliga områden såsom golvbrunnar och infästningar så att eventuella fuktskador här kan upptäckas i ett tidigare skede.

Referenser

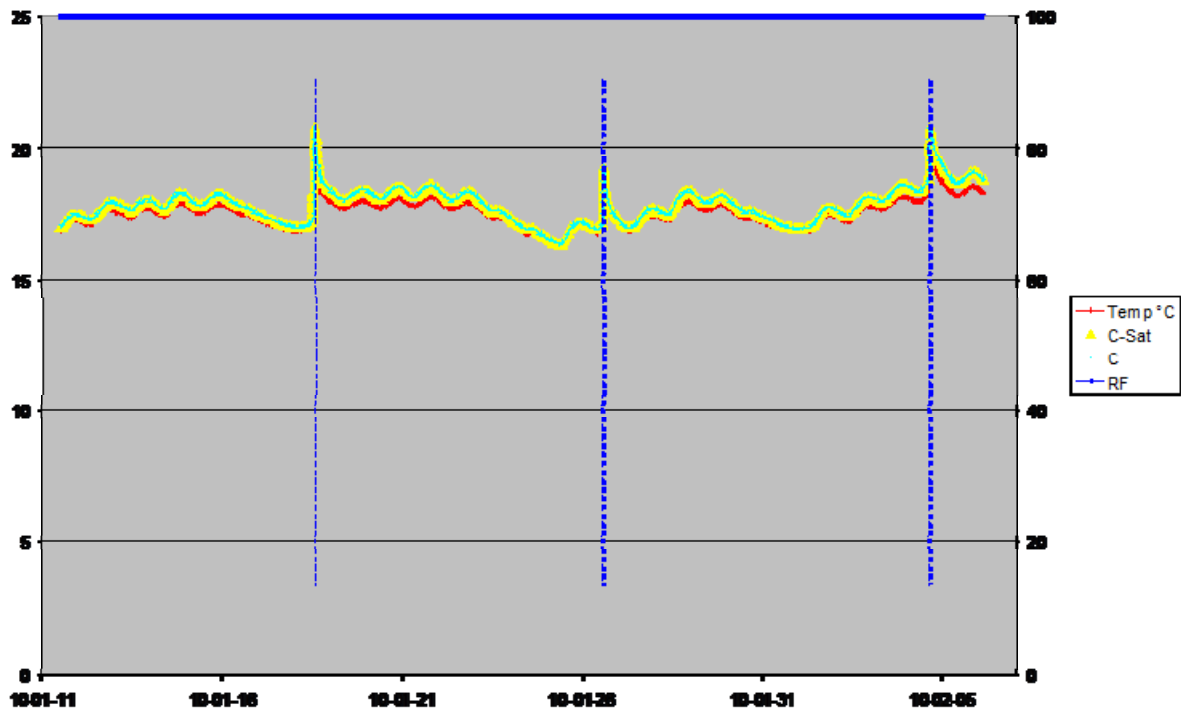
Sjöberg, Blomgren, Fuktmätning med trådlösa sensorer inom byggindustrin, (ID:11460), SBUF, (2004)

Sallova, Sulejmani, Trådlösa fuktsensorer i badrum, (2009). Hämtat från <http://www.byggnadsmaterial.lth.se/fileadmin/byggnadsmaterial/Education/pdf_doc/TVBM-5077.pdf> Maj 2010

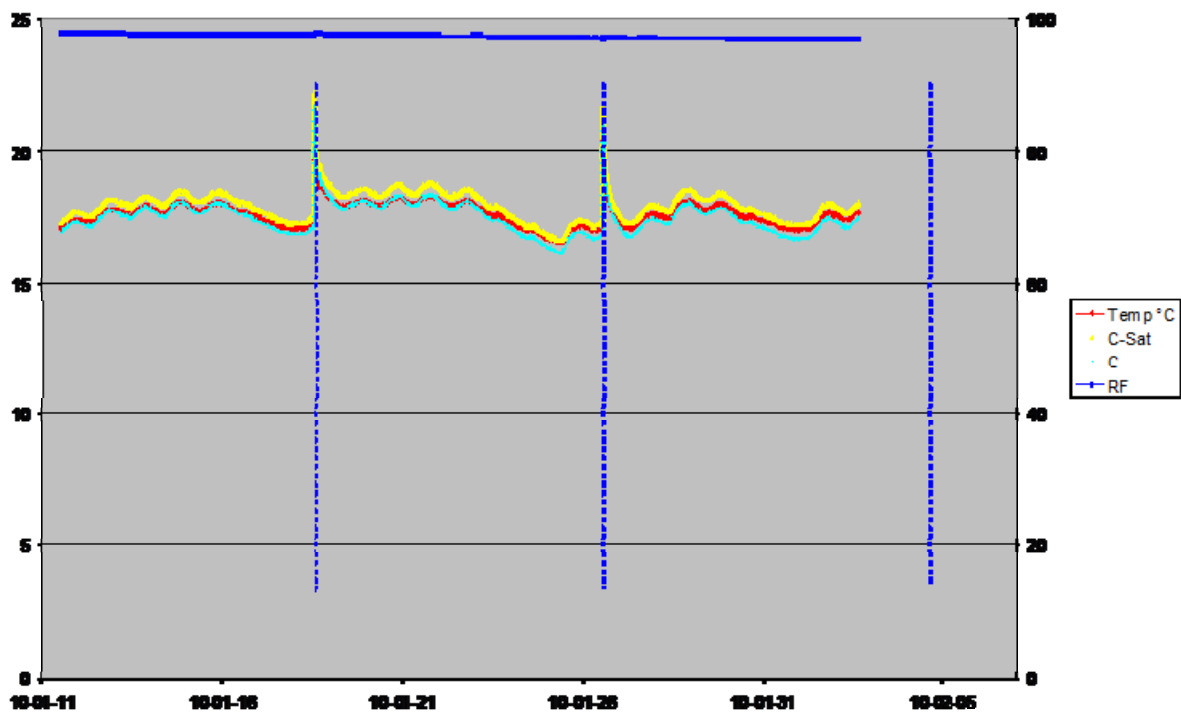
Nilsson, Fredlund, Ingjuten sensor för mätning av uttorkningsförlopp – beräkning av inverkan av sensorns dimension och orientering, (2009). Hämtat från <<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=1516004&fileOid=1516013>> Maj 2010

Bilaga 1

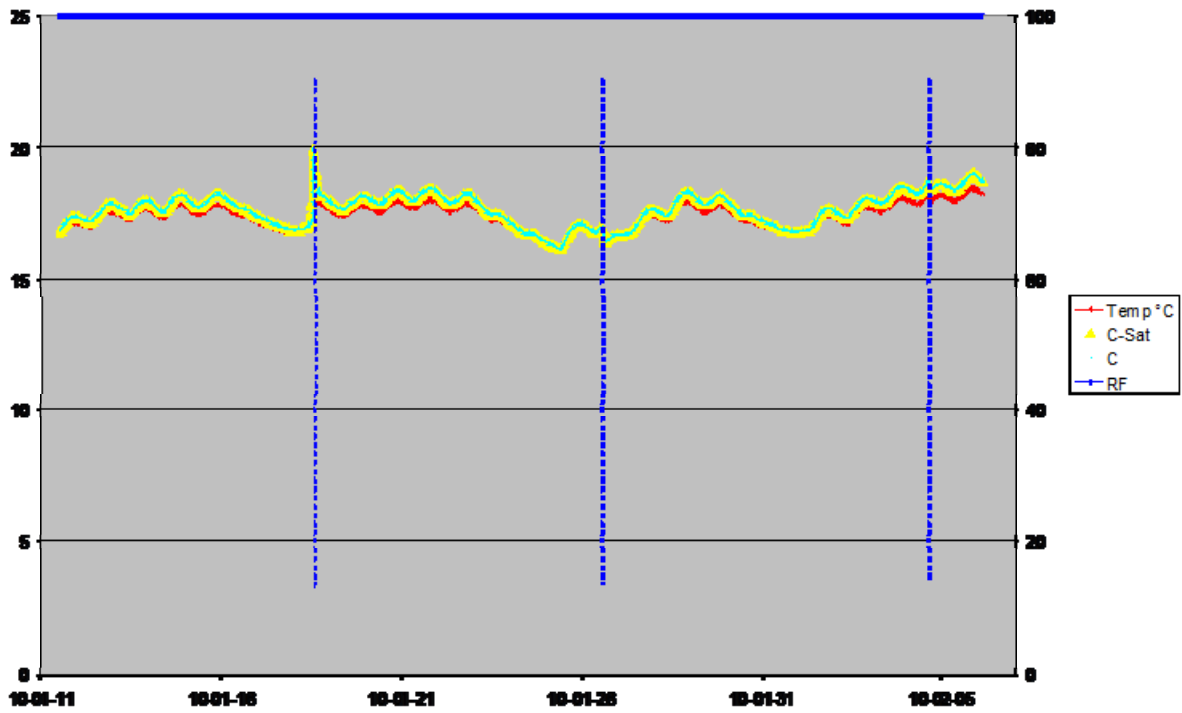
Redovisar resultaten från mätserie 1. RF redovisas på sekundäraxel.



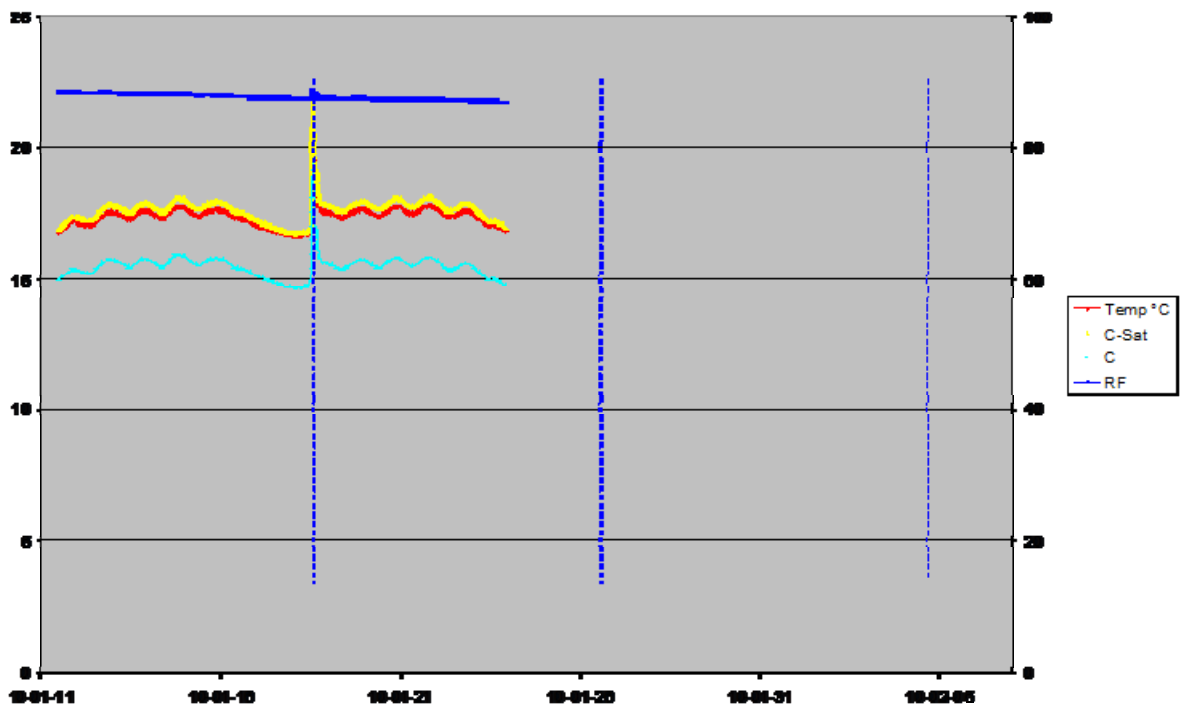
Figur B1:1 \Rightarrow Sensor 8E, golv vänster



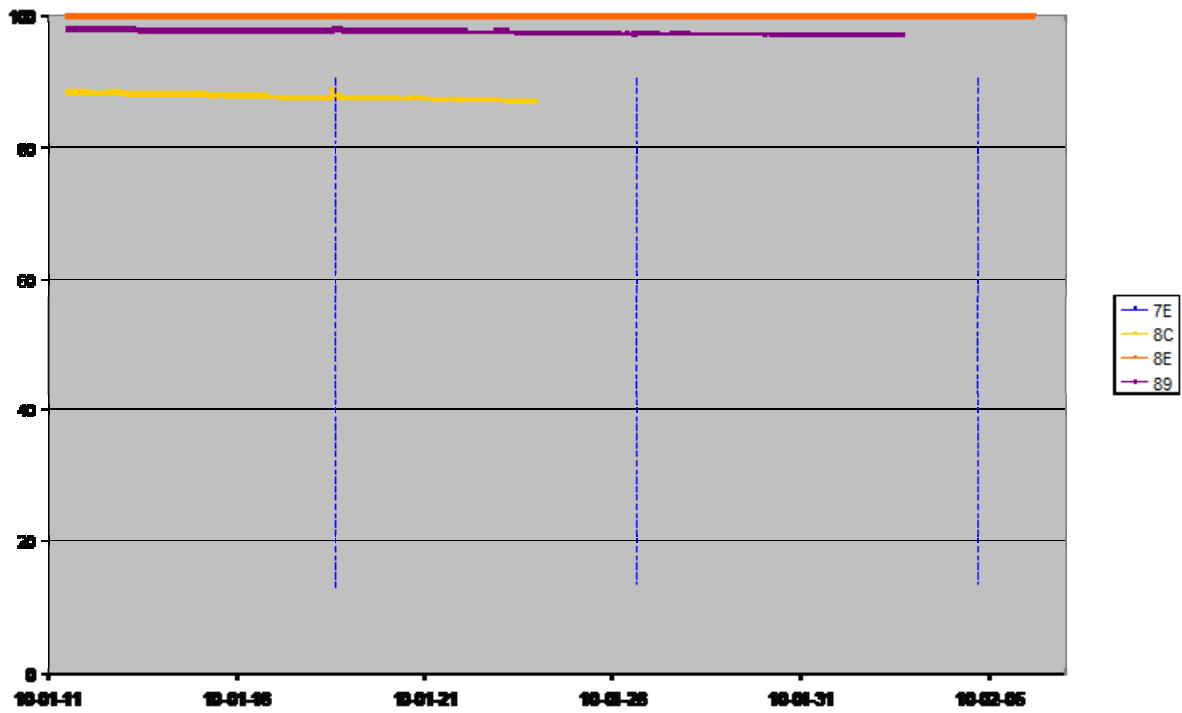
Figur B1:2 \Rightarrow Sensor 89, golv vänster



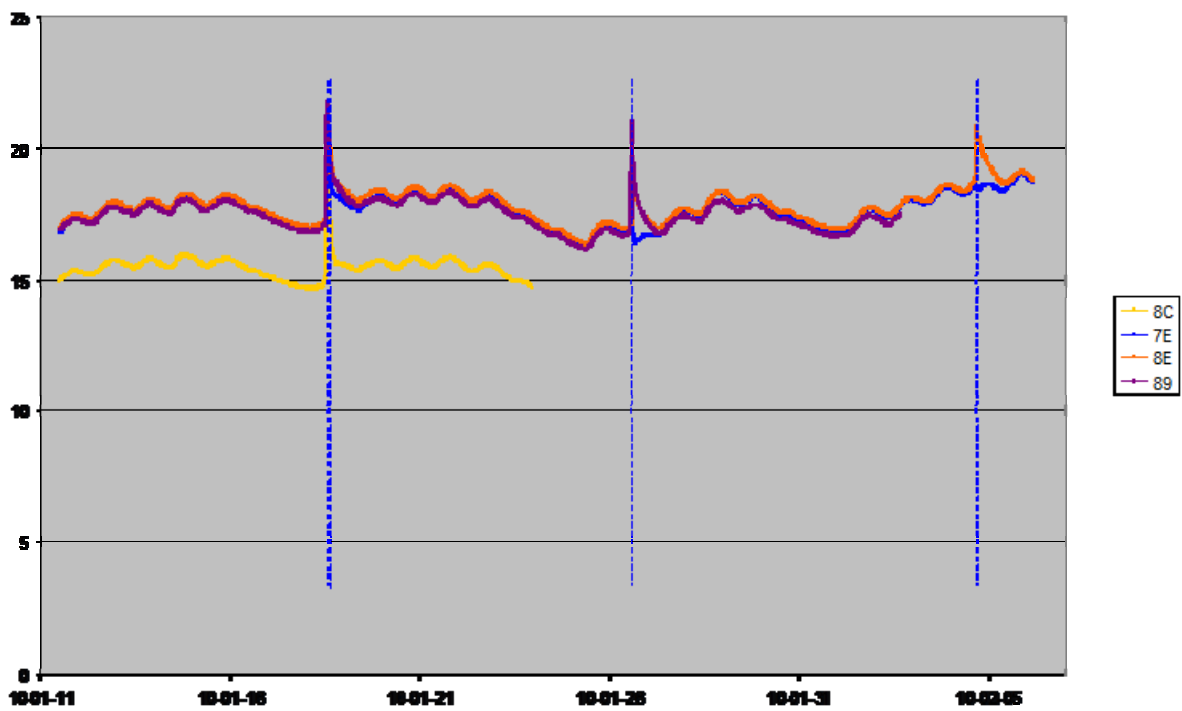
Figur B1:3 \Rightarrow Sensor 7E, golv vänster



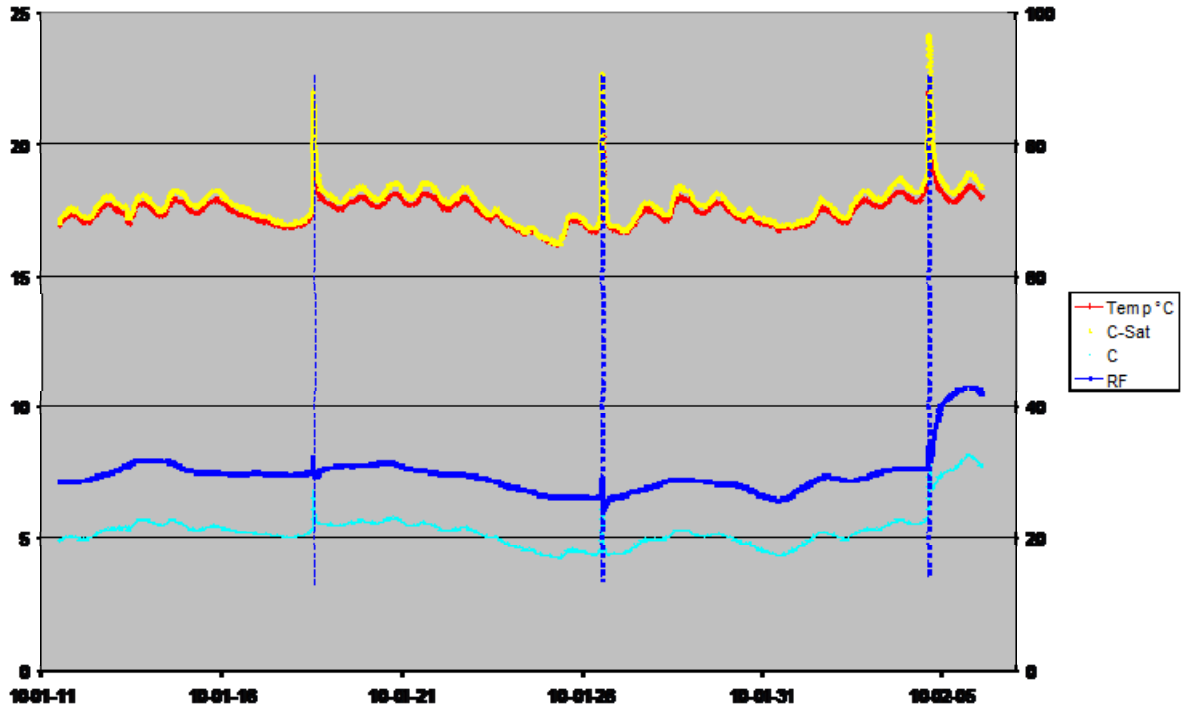
Figur B1:4 \Rightarrow Sensor 8C, golv vänster



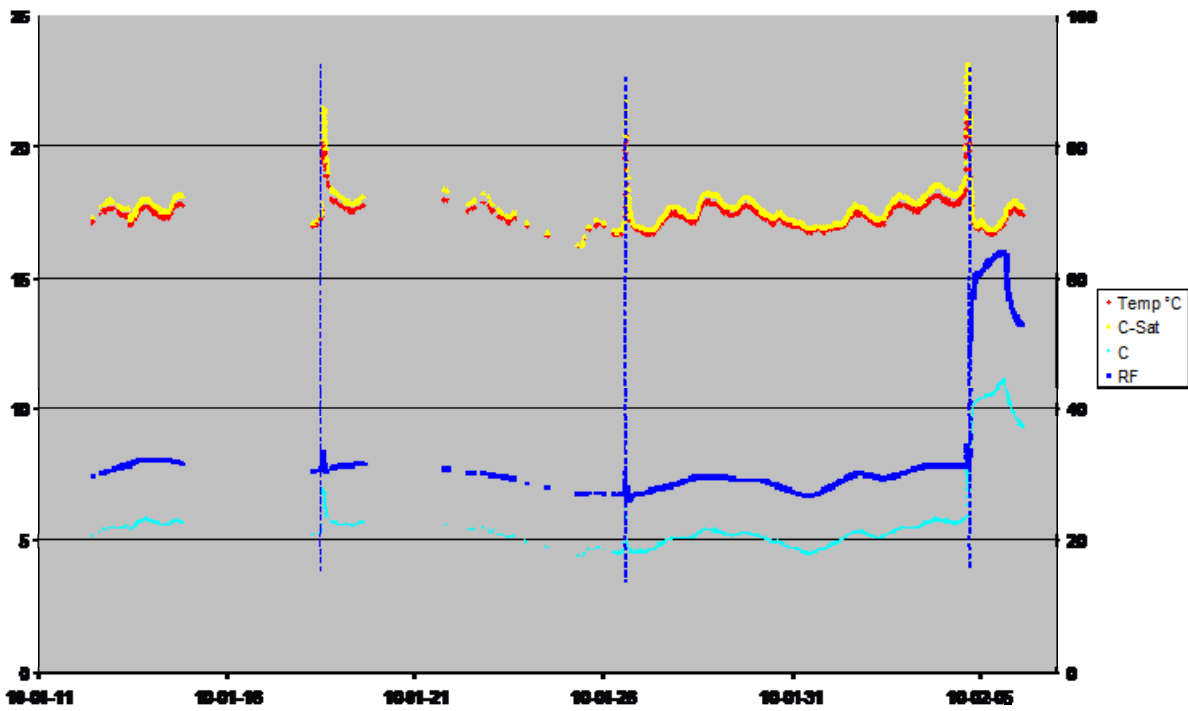
Figur B1:5 ⇒ Sammanställning RF, golv vänster



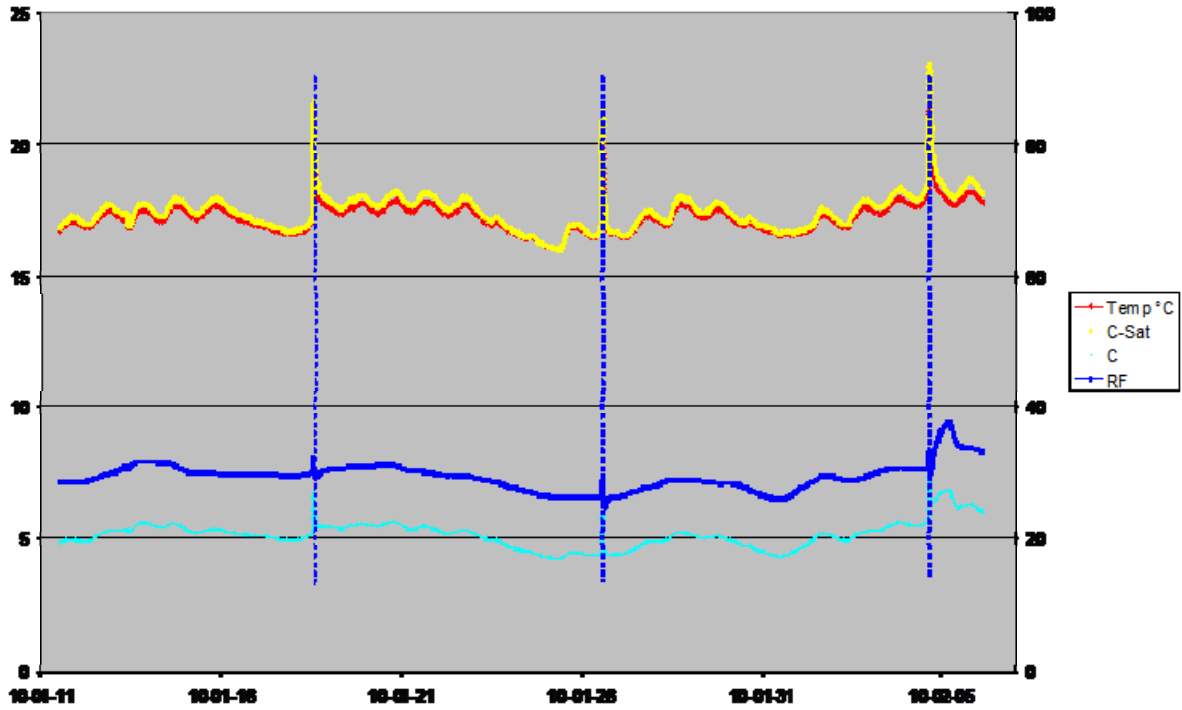
Figur B1:6 ⇒ Sammanställning ånghalt, golv vänster



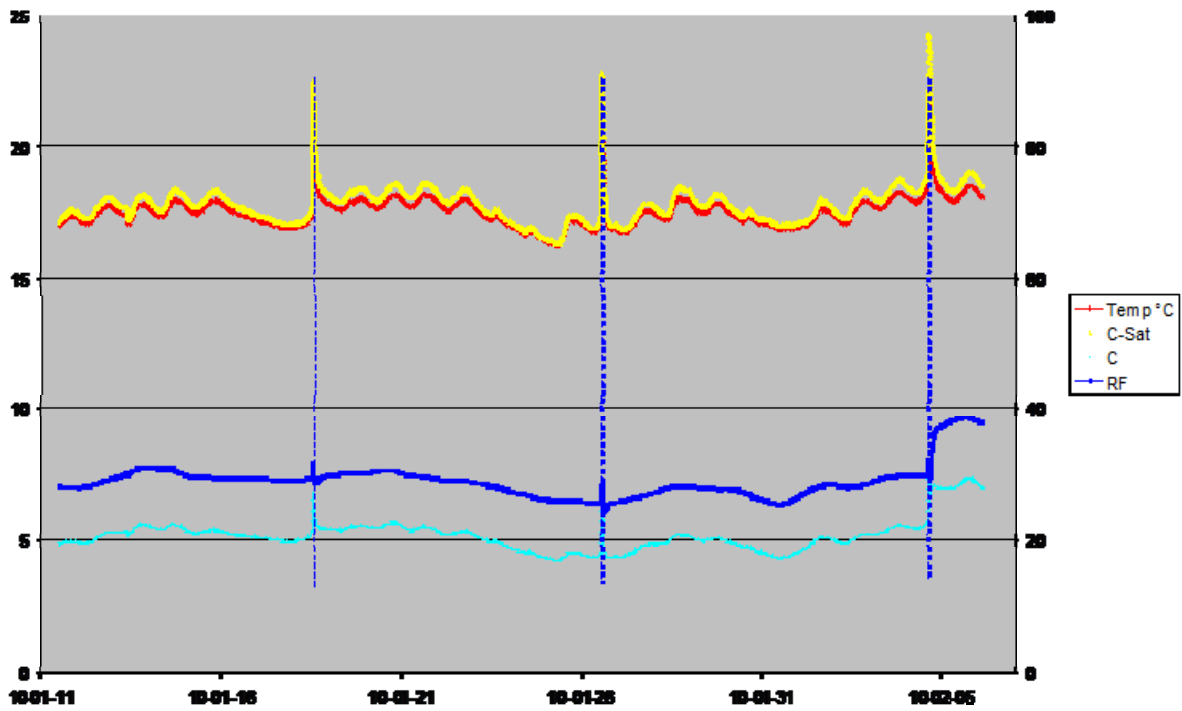
Figur B1:7 ⇒ Sensor 95, vägg vänster



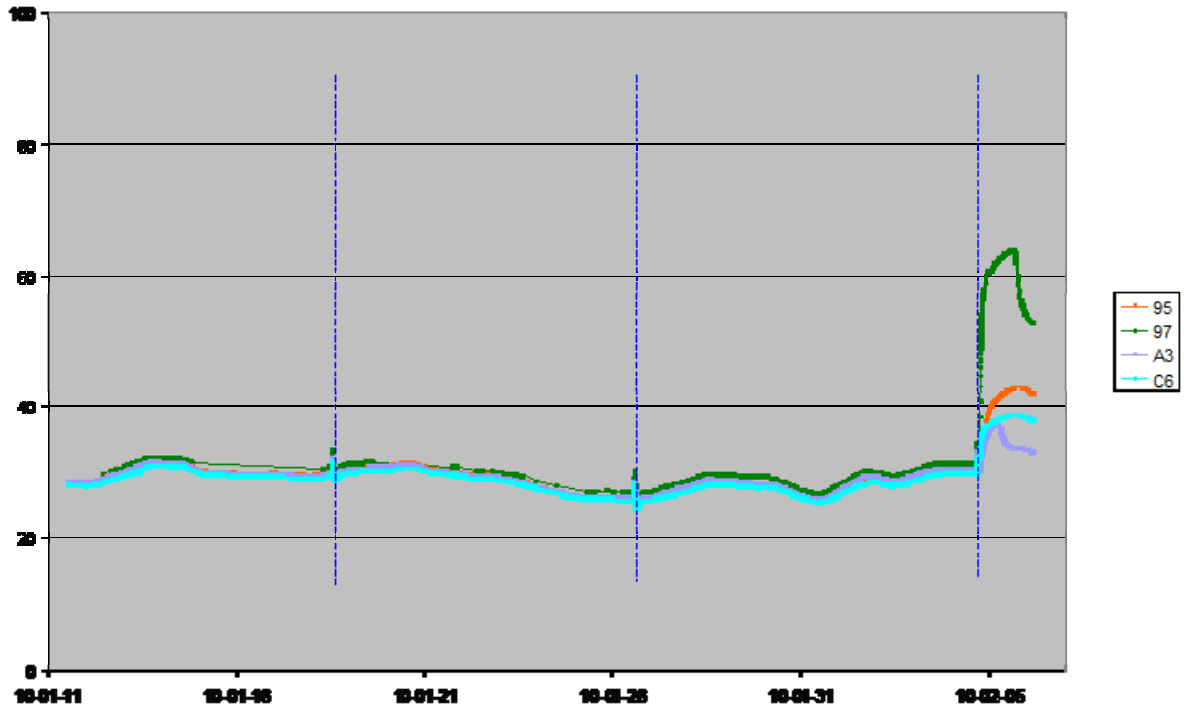
Figur B1:8 ⇒ Sensor 97, vägg vänster



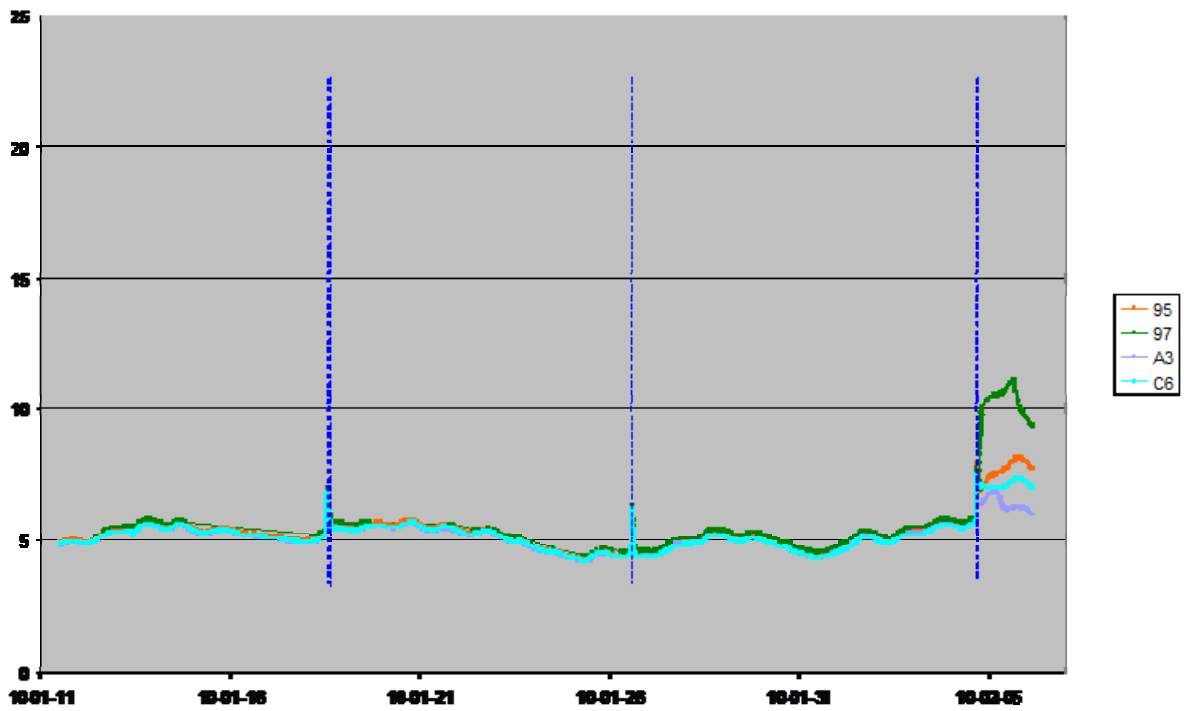
Figur B1:9 ⇒ Sensor A3, vägg vänster



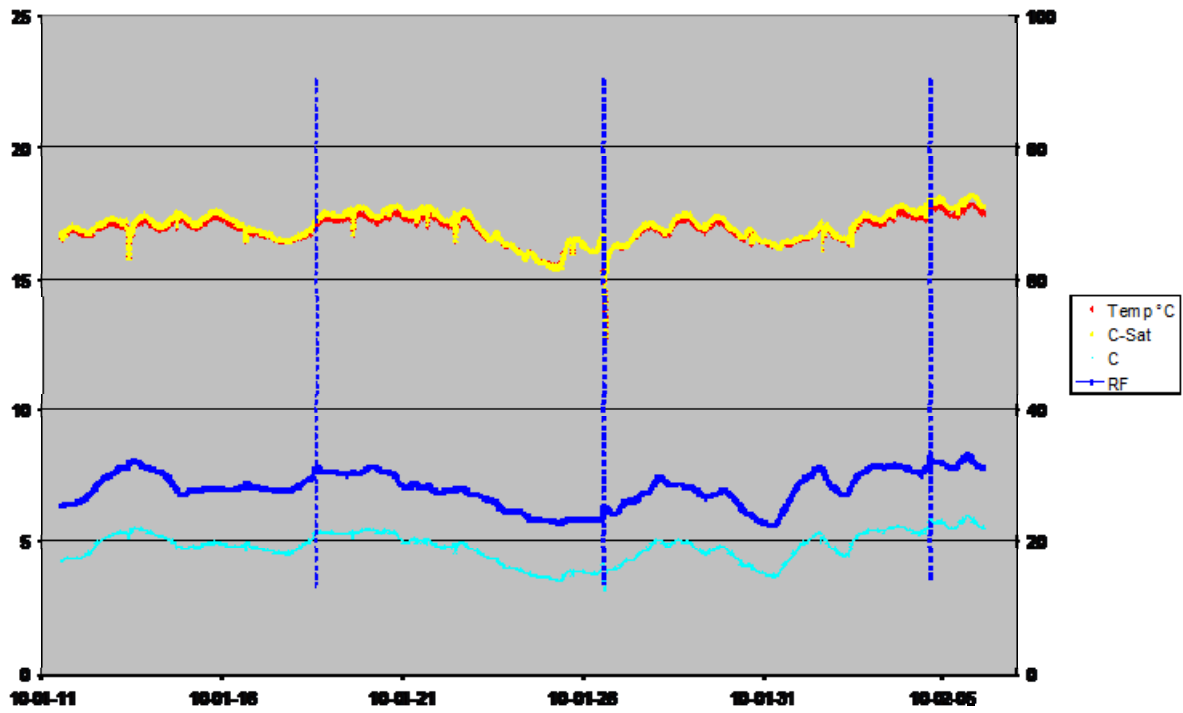
Figur B1:10 ⇒ Sensor C6, vägg vänster



Figur B1:11 ⇒ Sammanställning RF, vägg vänster



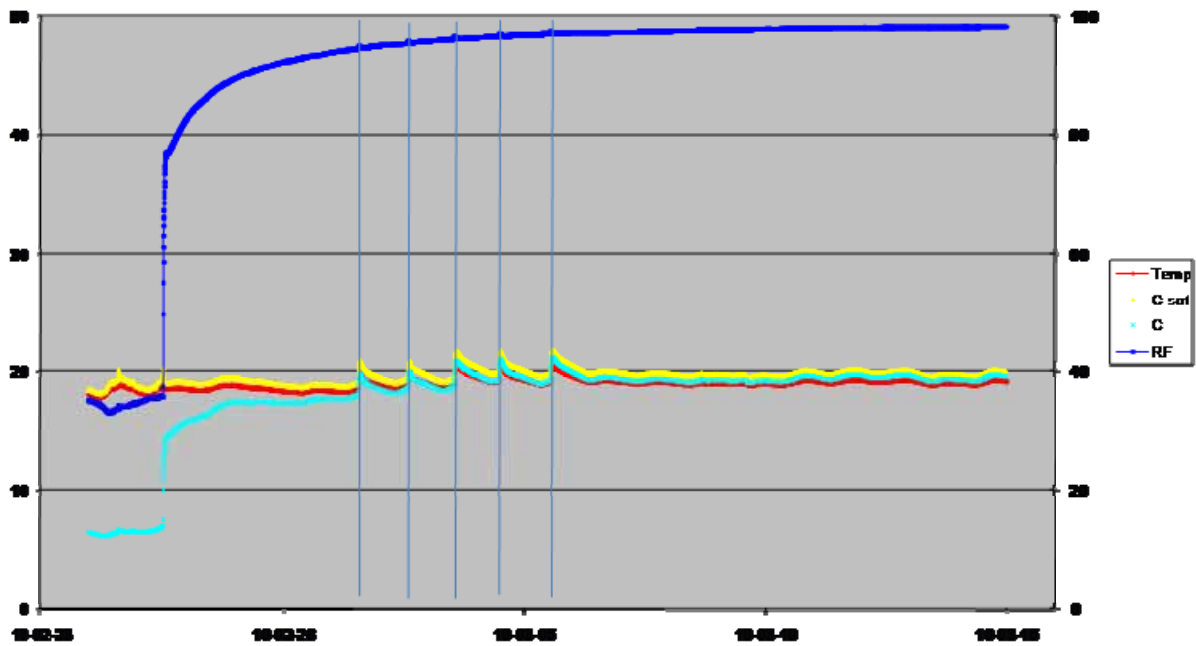
Figur B1:12 ⇒ Sammanställning ånghalt, vägg vänster



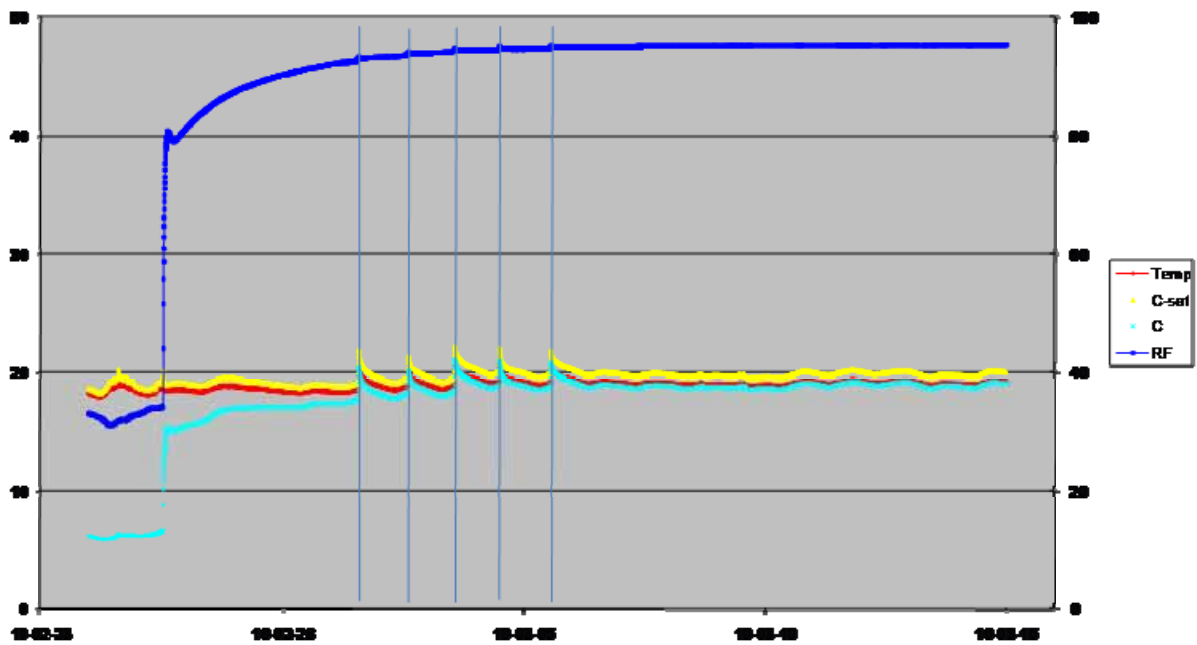
Figur B1:13 \Rightarrow Sensor C8, rumsluft

Bilaga 2

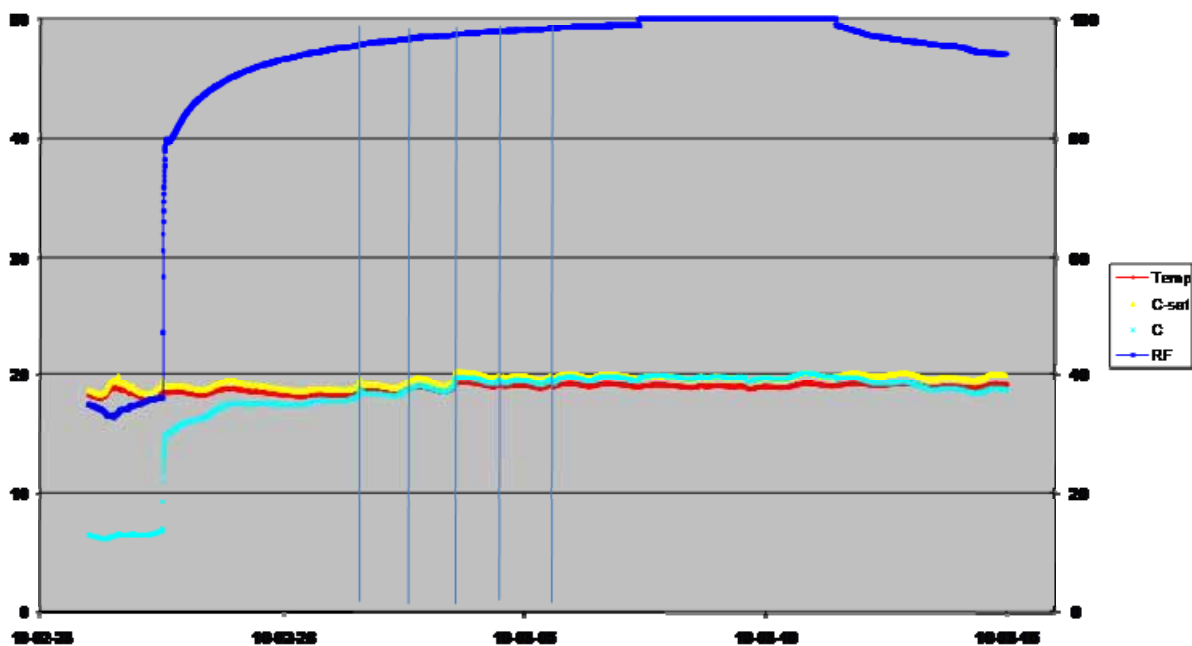
Redovisar resultaten från mätserie 2. RF redovisas på sekundäraxel.



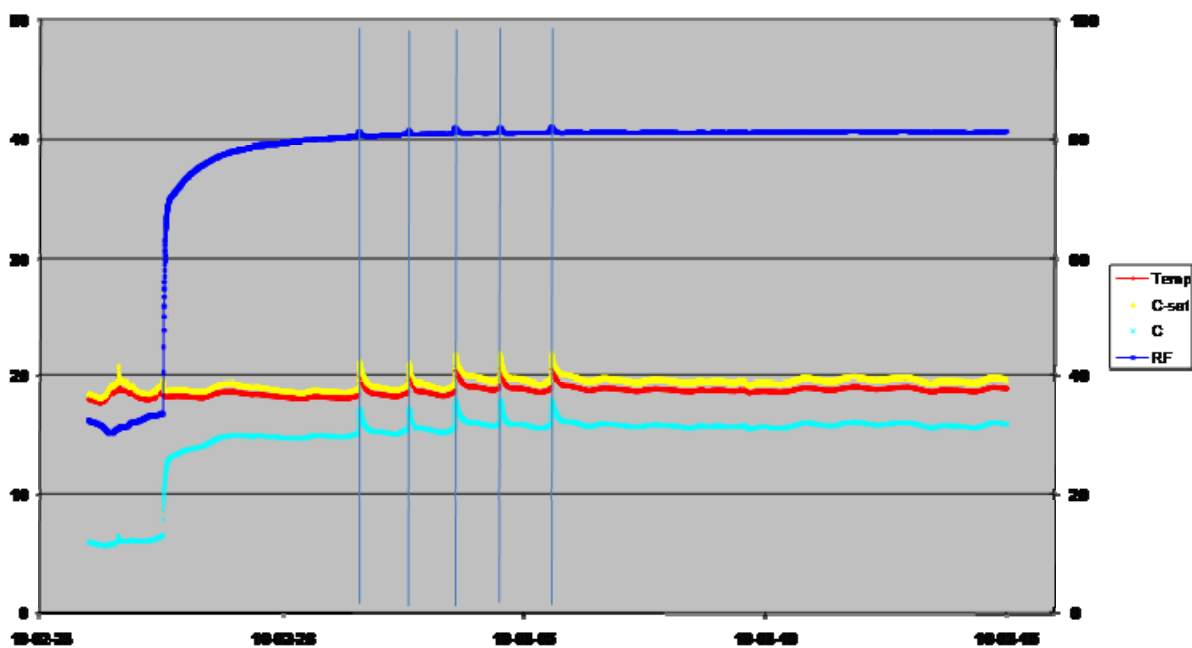
Figur B2:1 \Rightarrow Sensor 8E, golv vänster



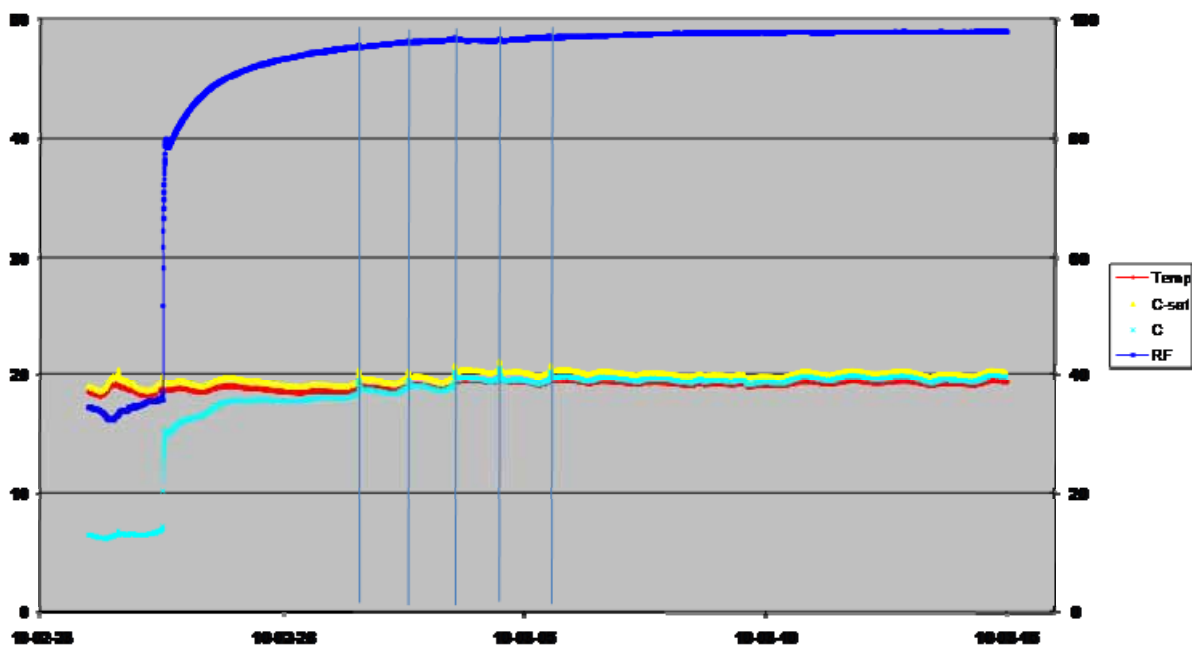
Figur B2:2 \Rightarrow Sensor 89, golv vänster



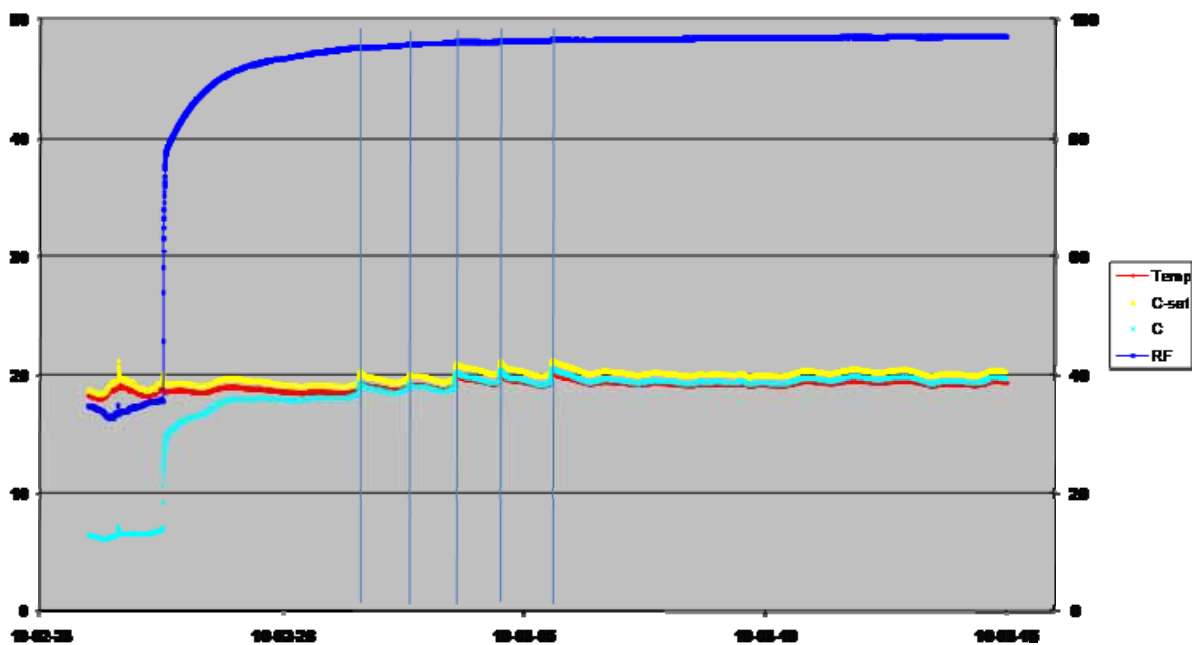
Figur B2:3 \Rightarrow Sensor 7E, golv vänster



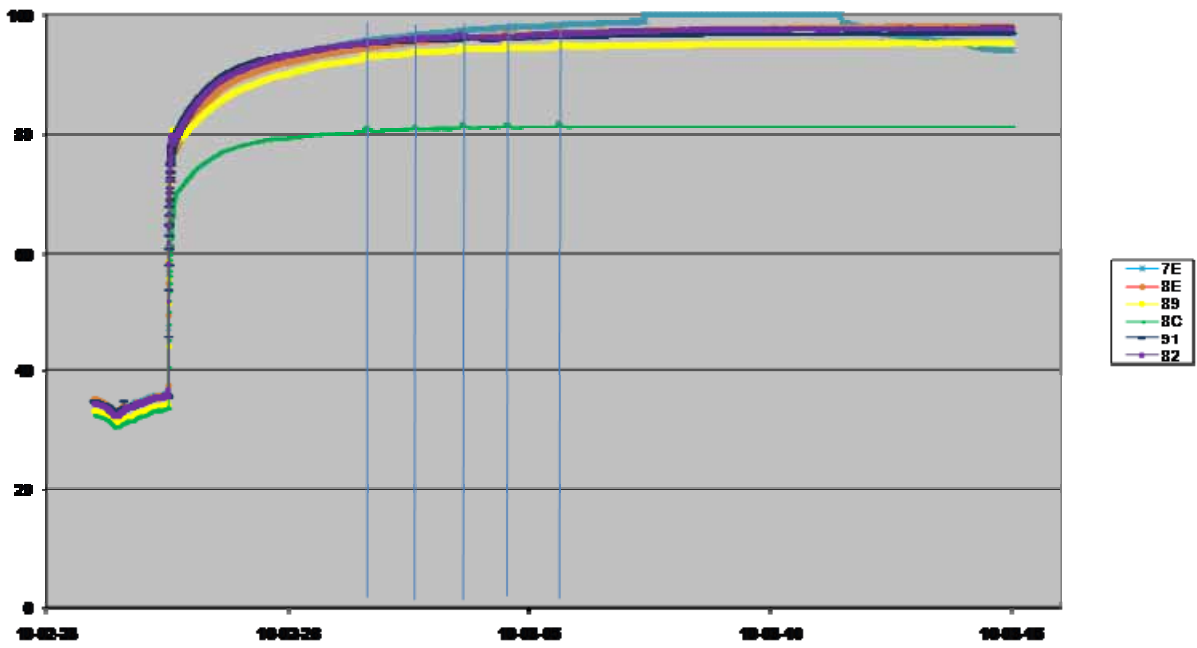
Figur B2:4 \Rightarrow Sensor 8C, golv vänster



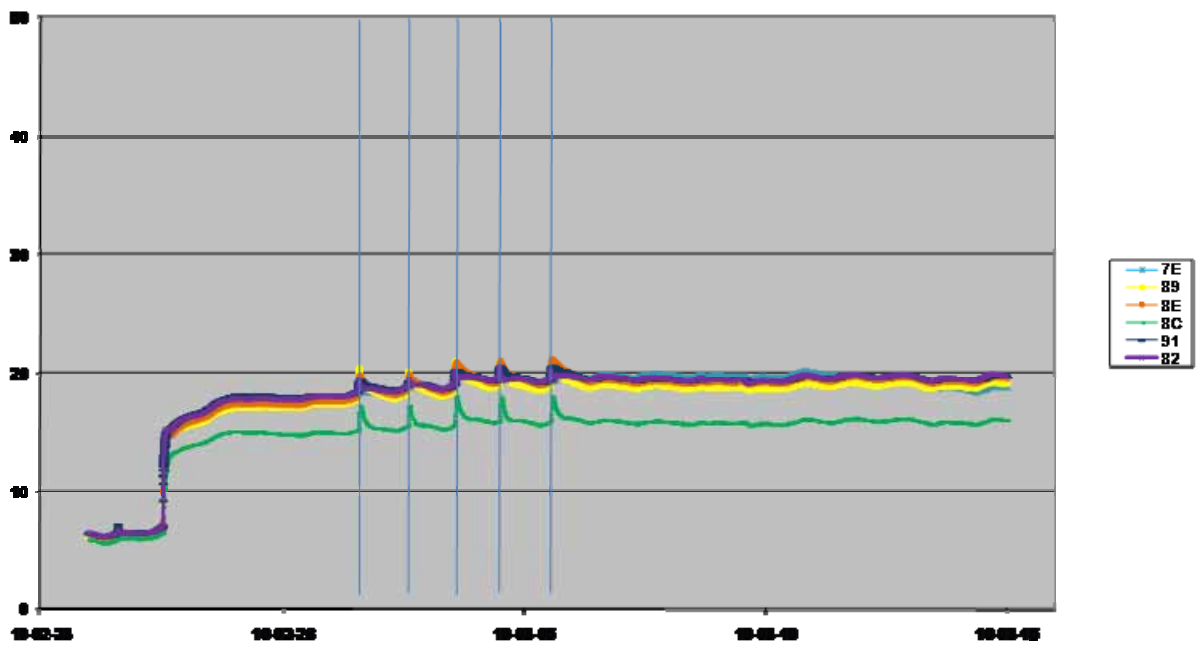
Figur B2:5 ⇒ Sensor 82, golv vänster



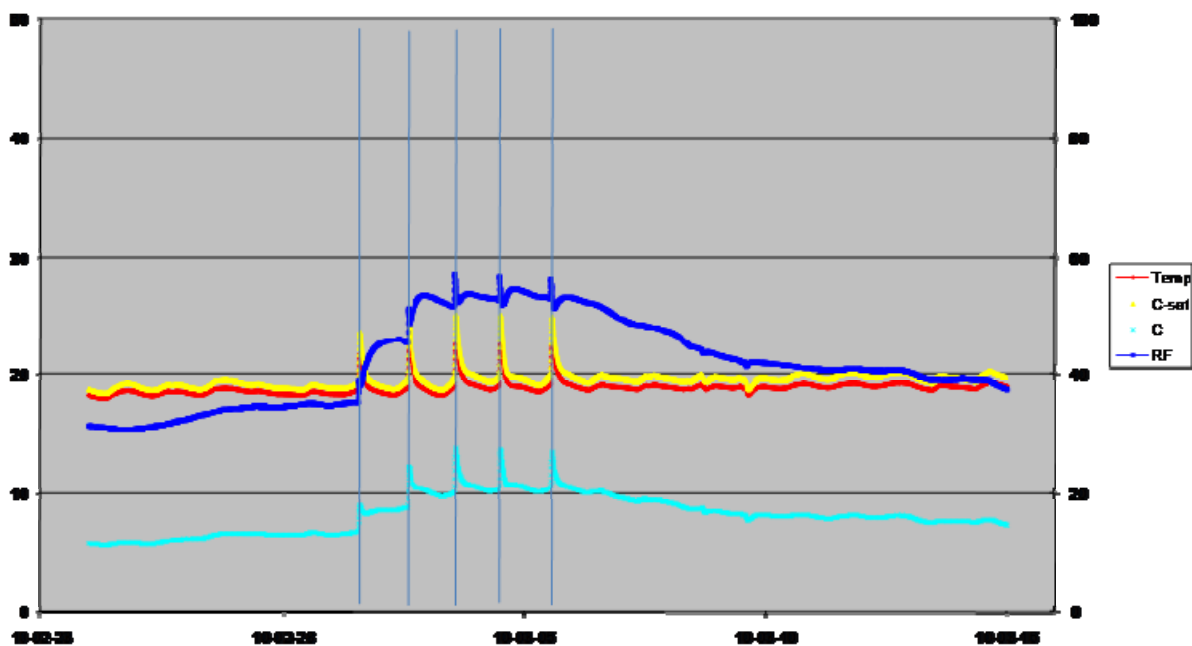
Figur B2:6 ⇒ Sensor 91, golv vänster



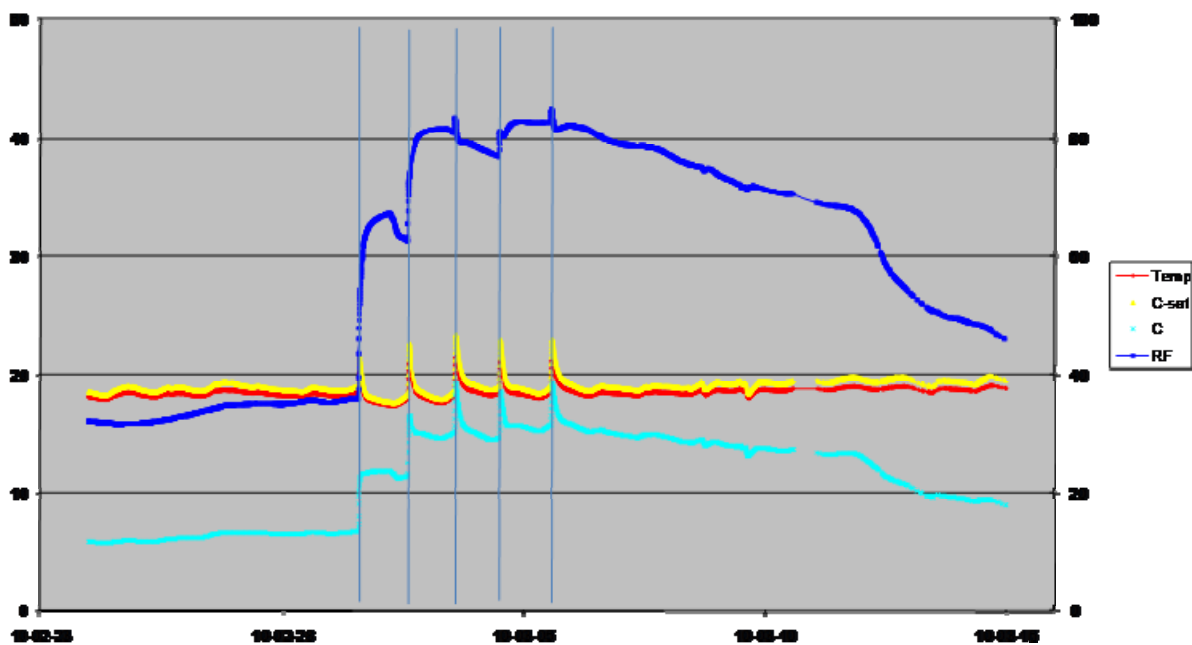
Figur B2:7 ⇒ Sammanställning RF, golv vänster



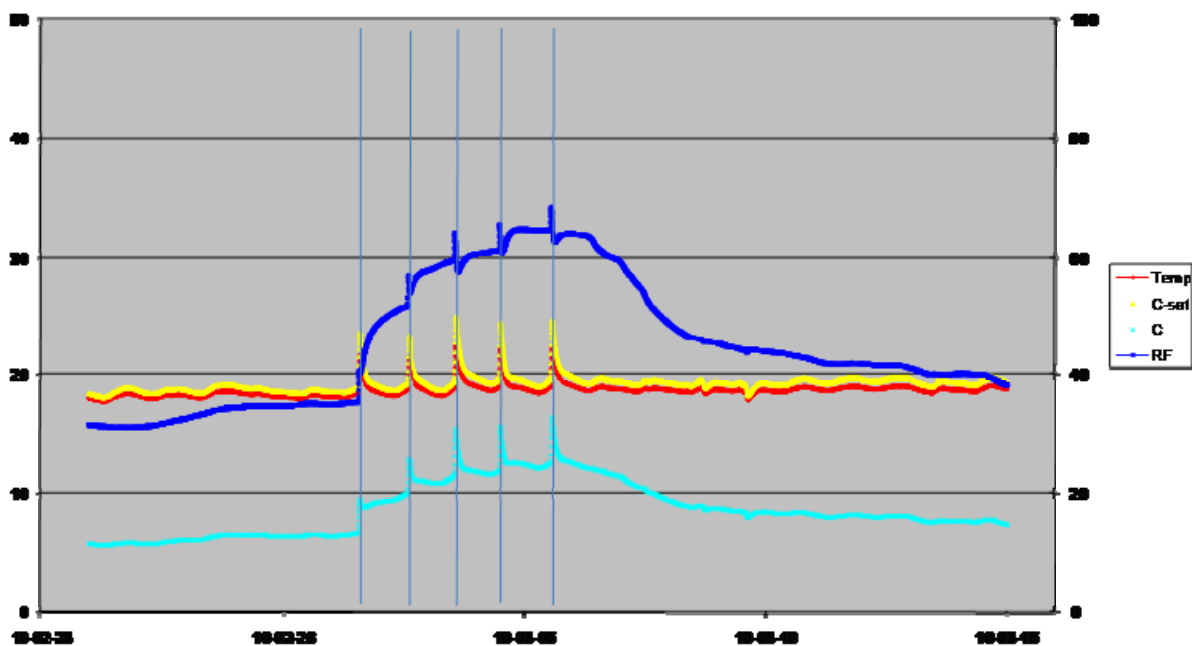
Figur B2:8 ⇒ Sammanställning ånghalt, golv vänster



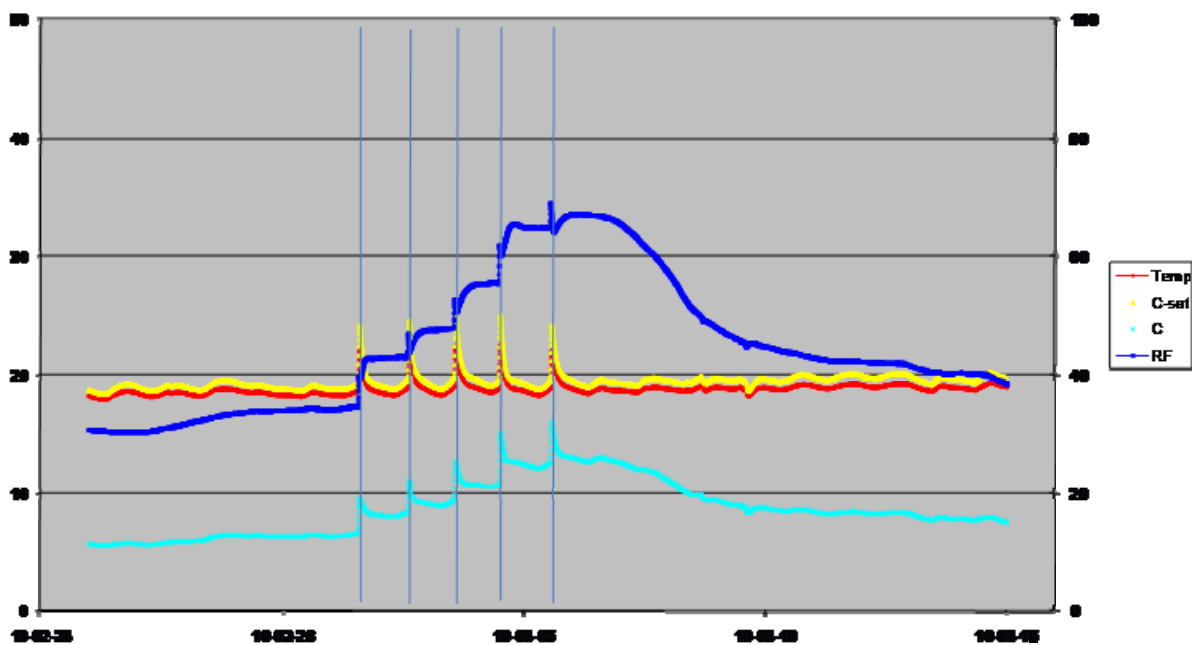
Figur B2:9 ⇒ Sensor 95, vägg vänster



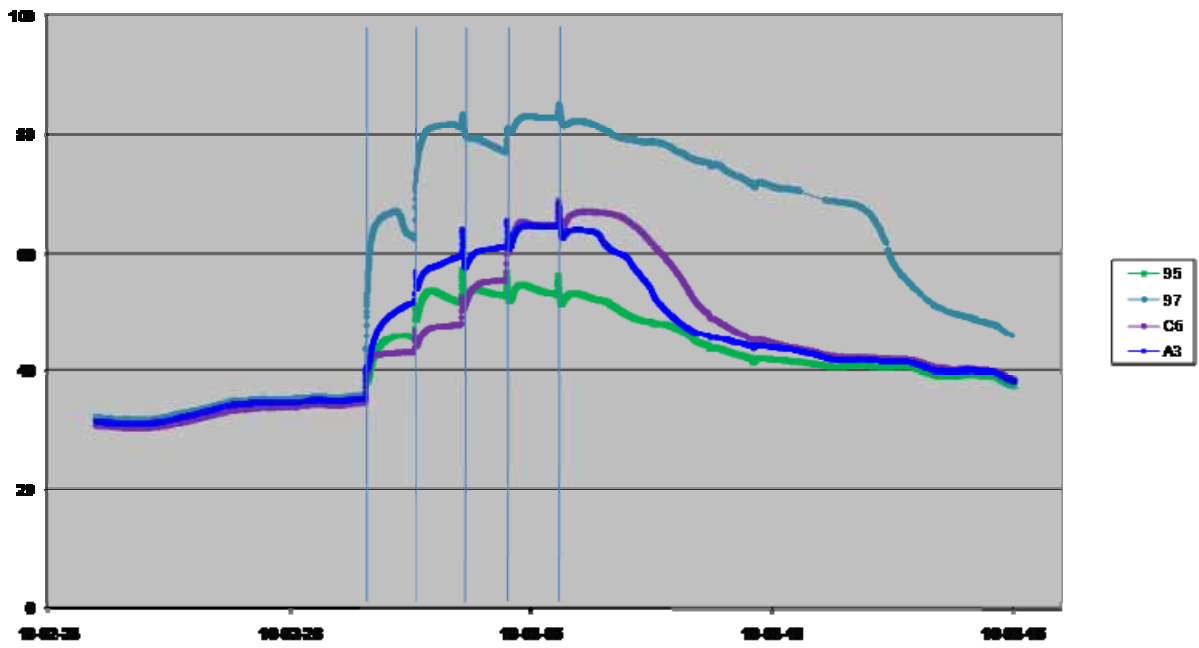
Figur B2:10 ⇒ Sensor 97, vägg vänster



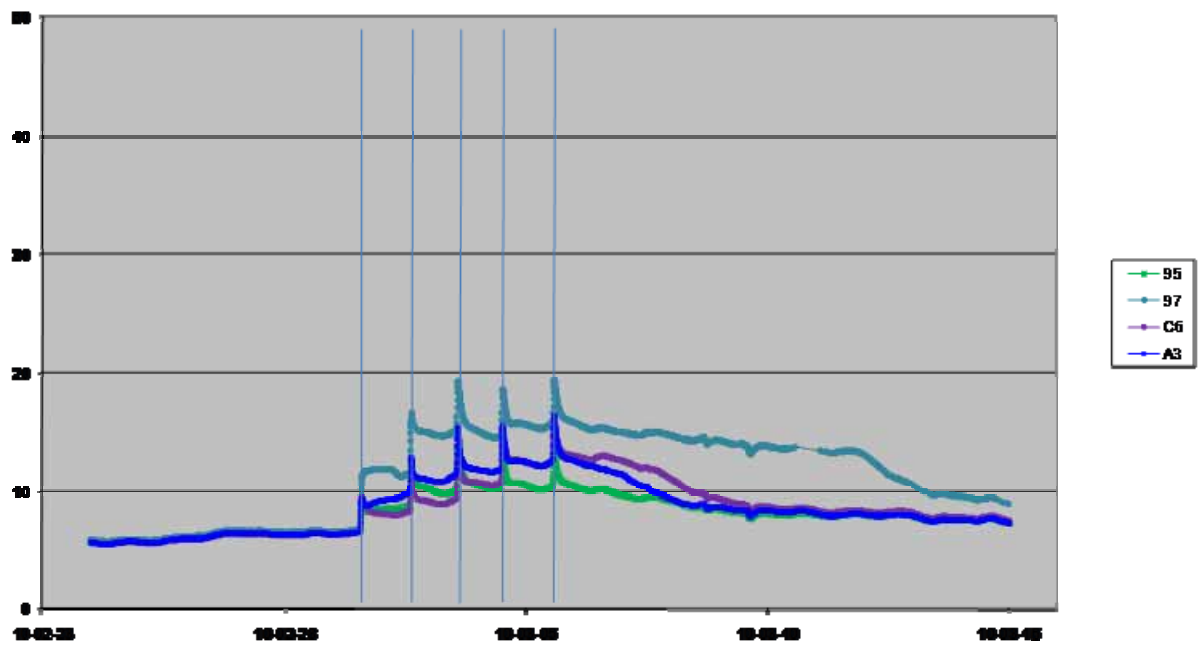
Figur B2:11 ⇒ Sensor A3, vägg vänster



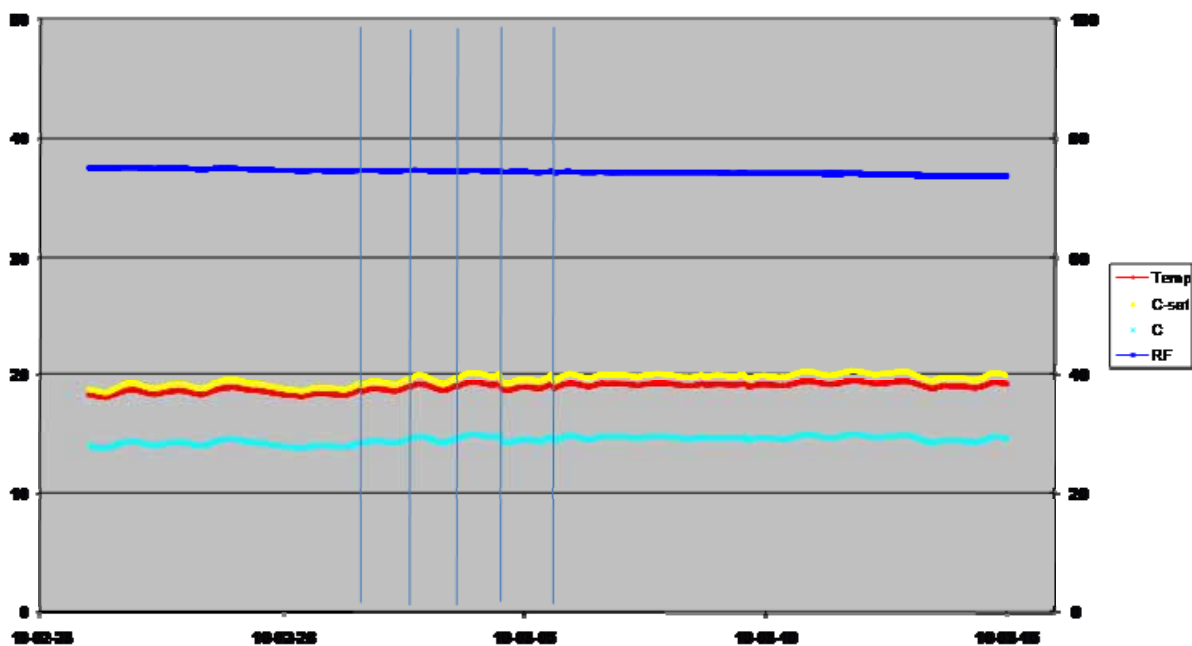
Figur B2:12 ⇒ Sensor C6, vägg vänster



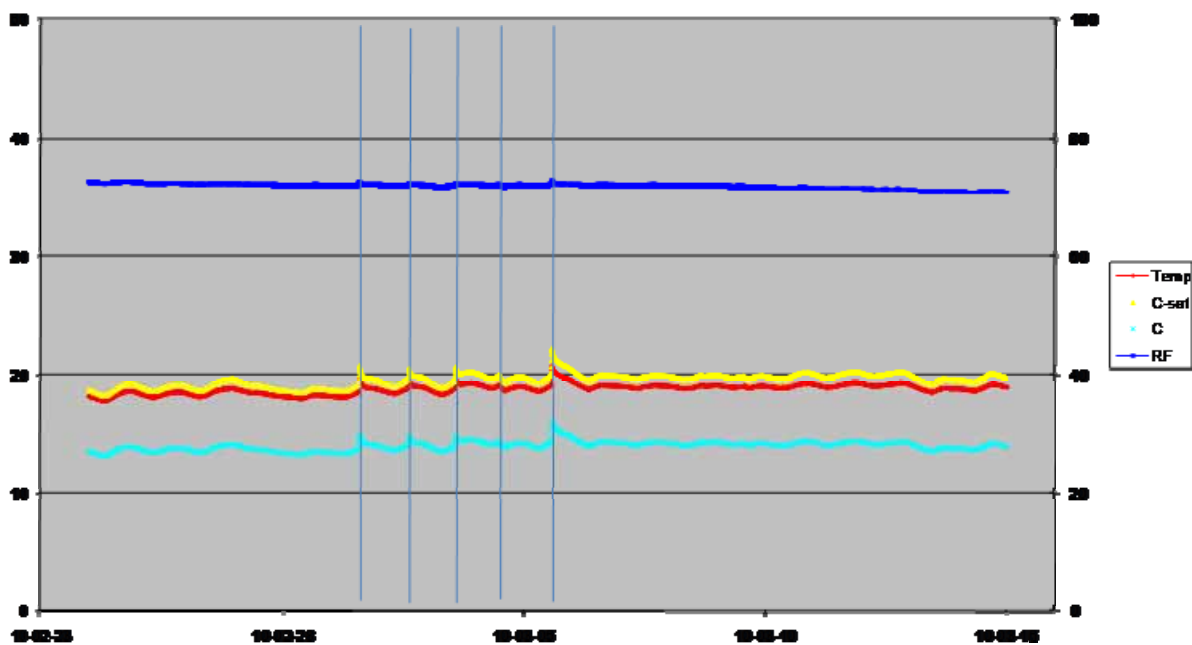
Figur B2:13 ⇒ Sammanställning RF, vägg vänster



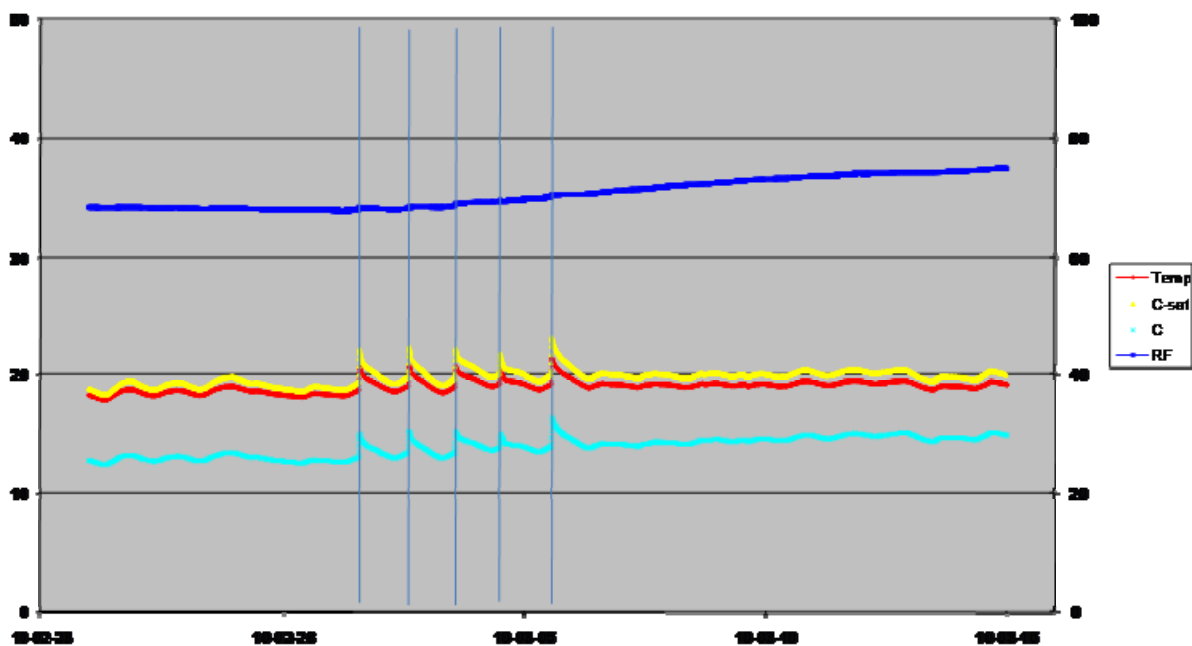
Figur B2:14 ⇒ Sammanställning ånghalt, vägg vänster



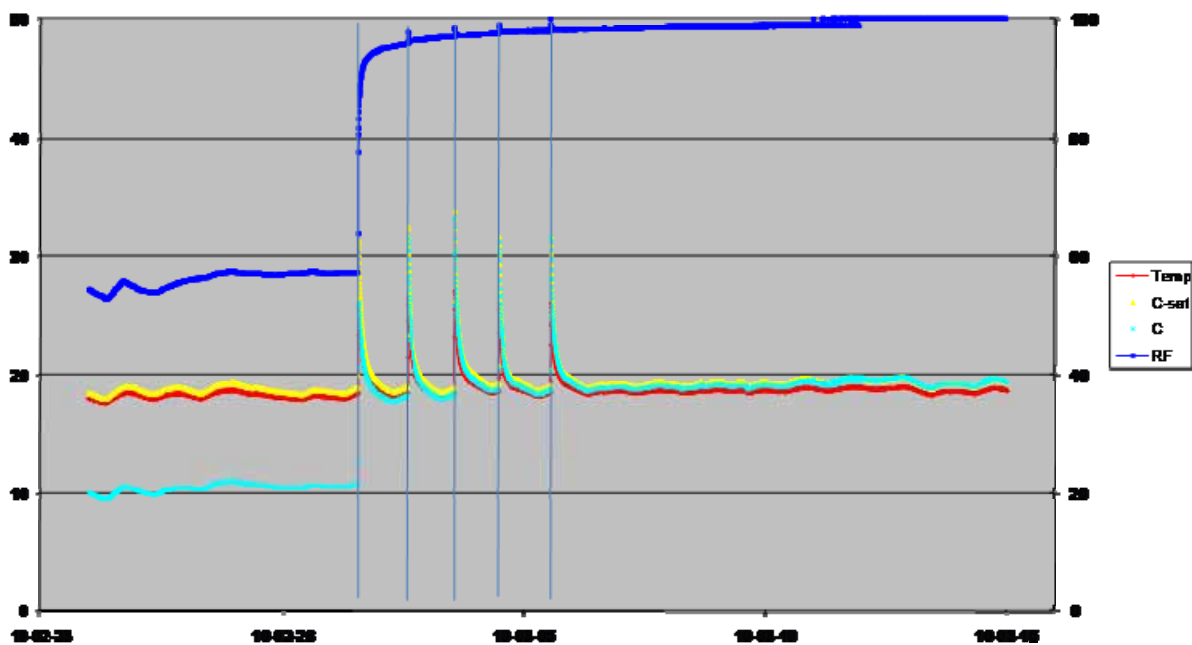
Figur B2:15 \Rightarrow Sensor 93, golv höger



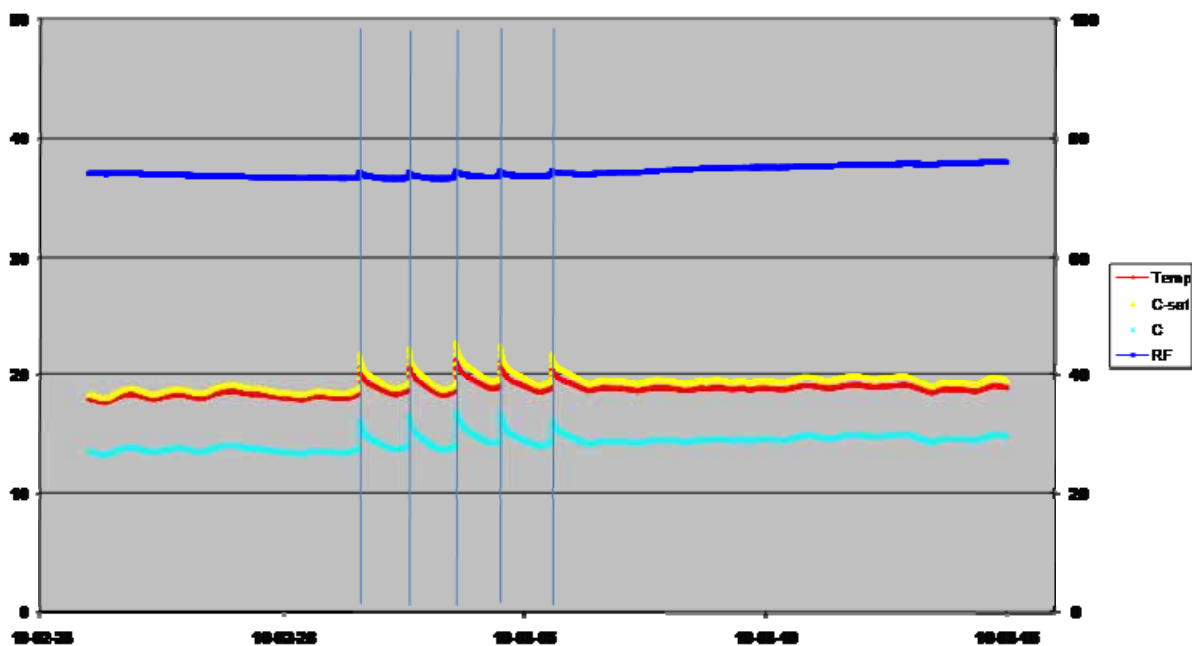
Figur B2:16 \Rightarrow Sensor C9, golv höger



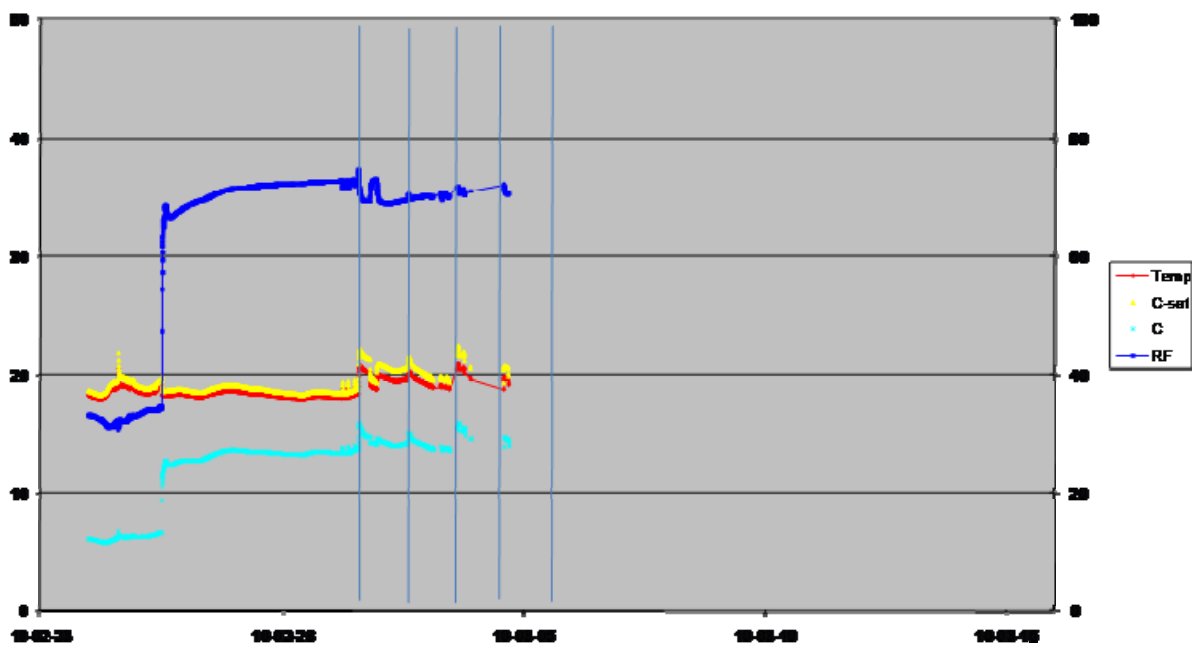
Figur B2:17 \Rightarrow Sensor B8, golv höger



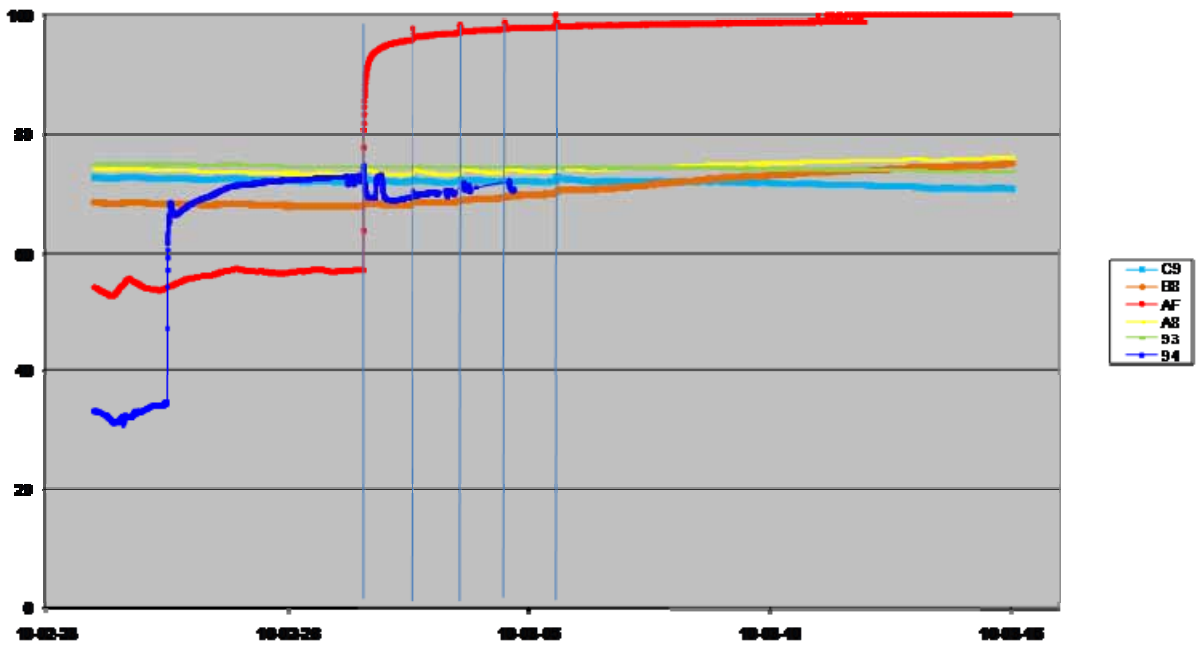
Figur B2:18 \Rightarrow Sensor AF, golv höger



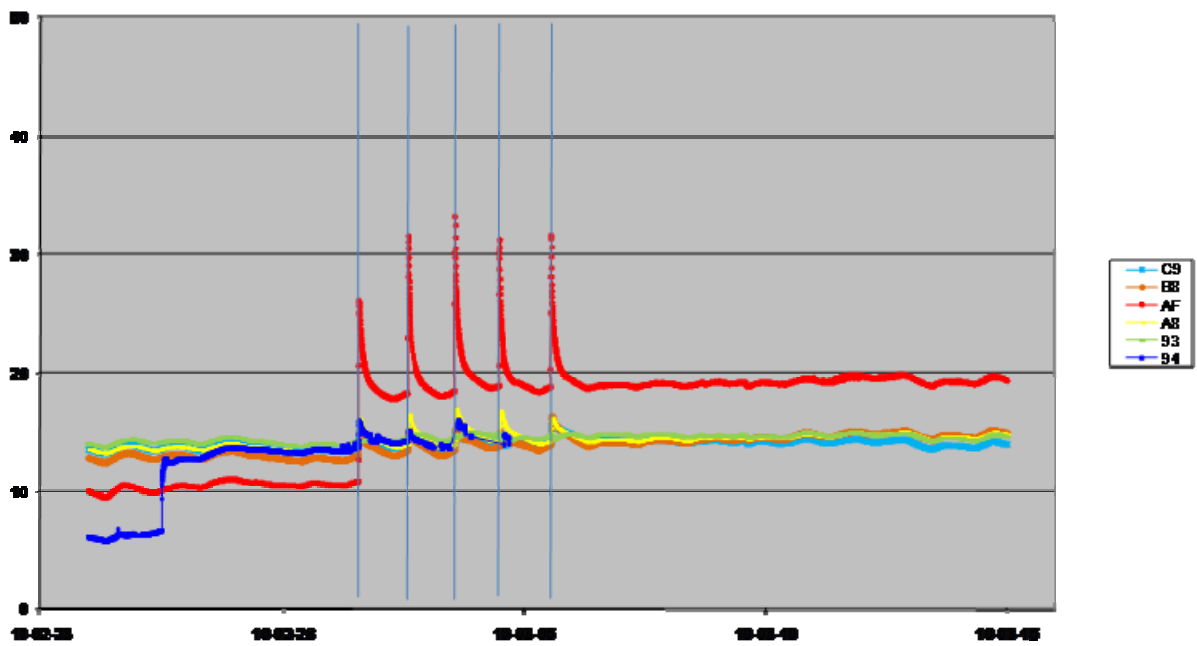
Figur B2:19 ⇒ Sensor A8, golv höger



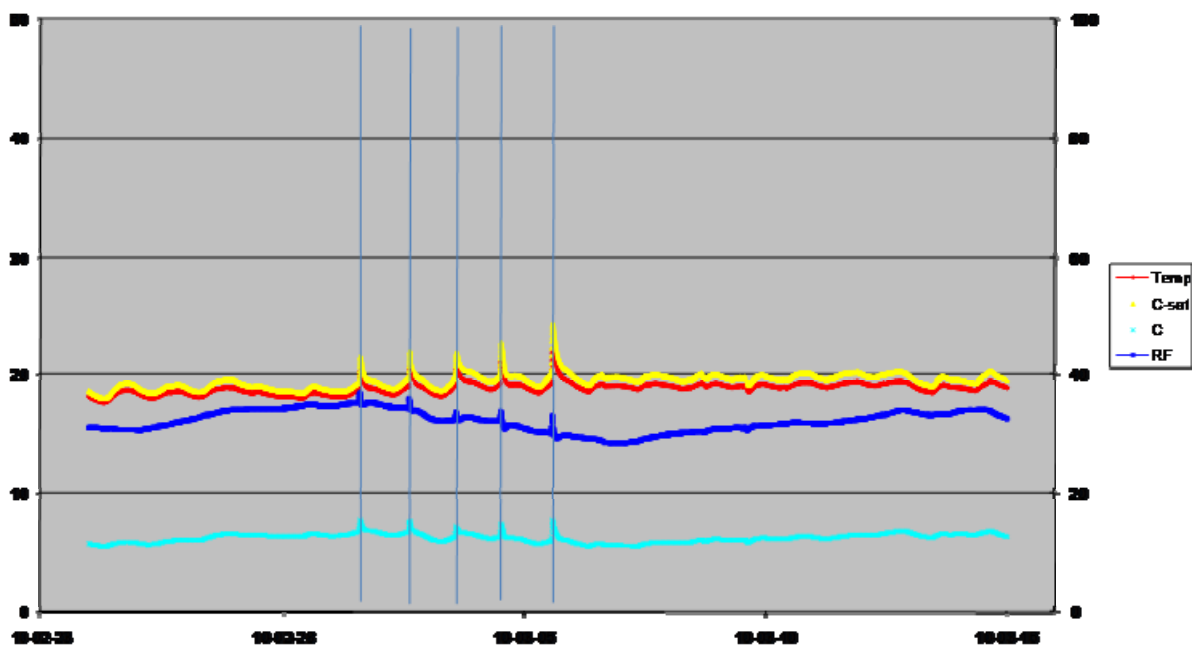
Figur B2:20 ⇒ Sensor 94, golv höger



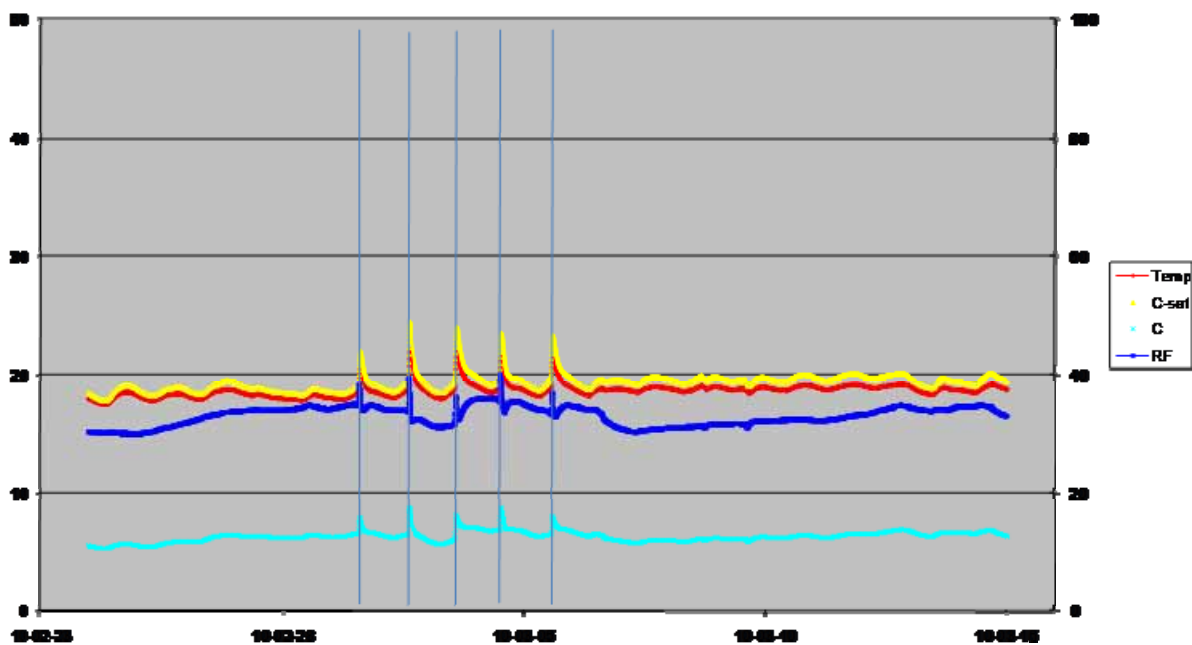
Figur B2:21 \Rightarrow Sammanställning RF, golv höger



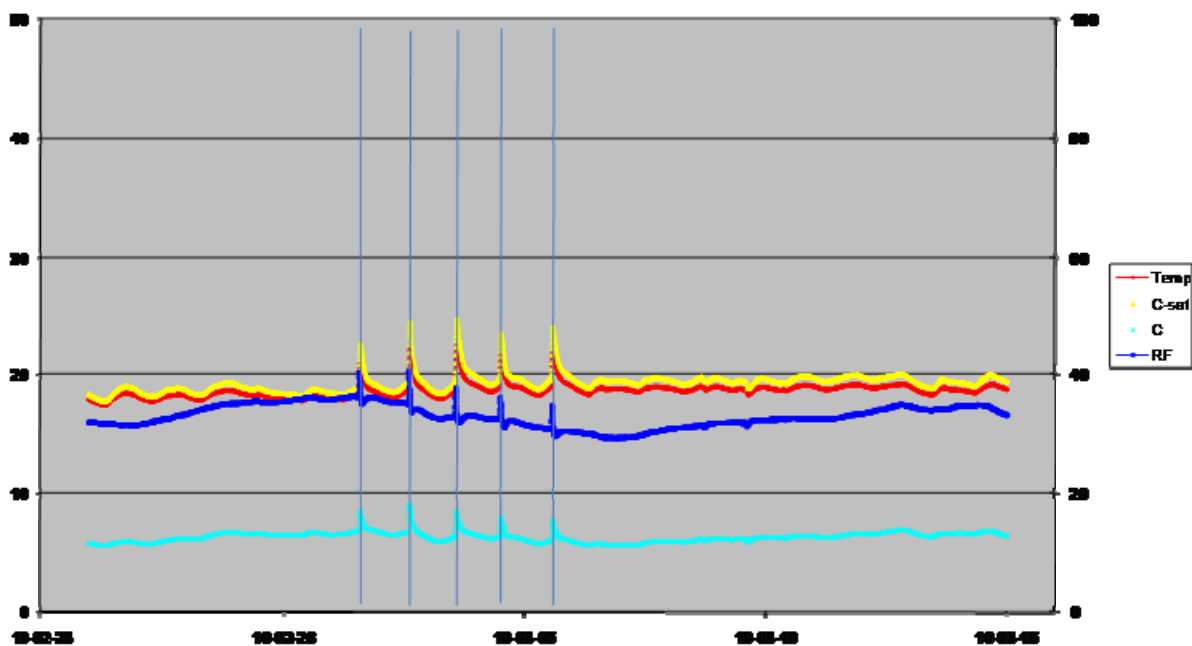
Figur B2:22 \Rightarrow Sammanställning ånghalt, golv höger



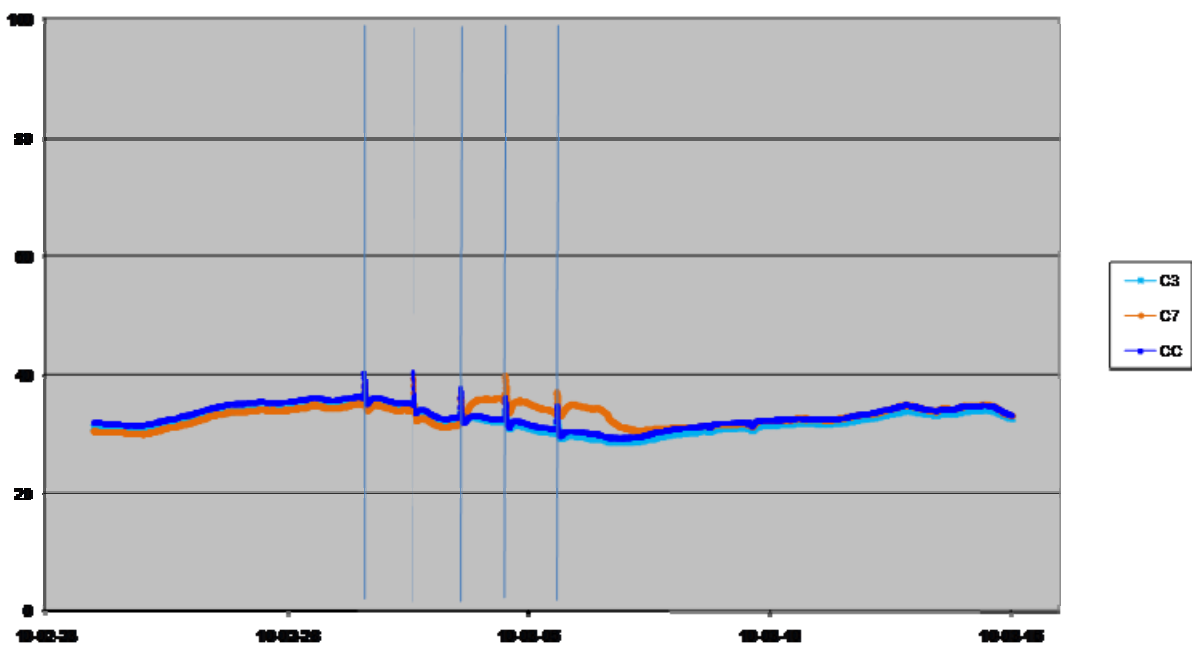
Figur B2:23 \Rightarrow Sensor C3, vägg höger



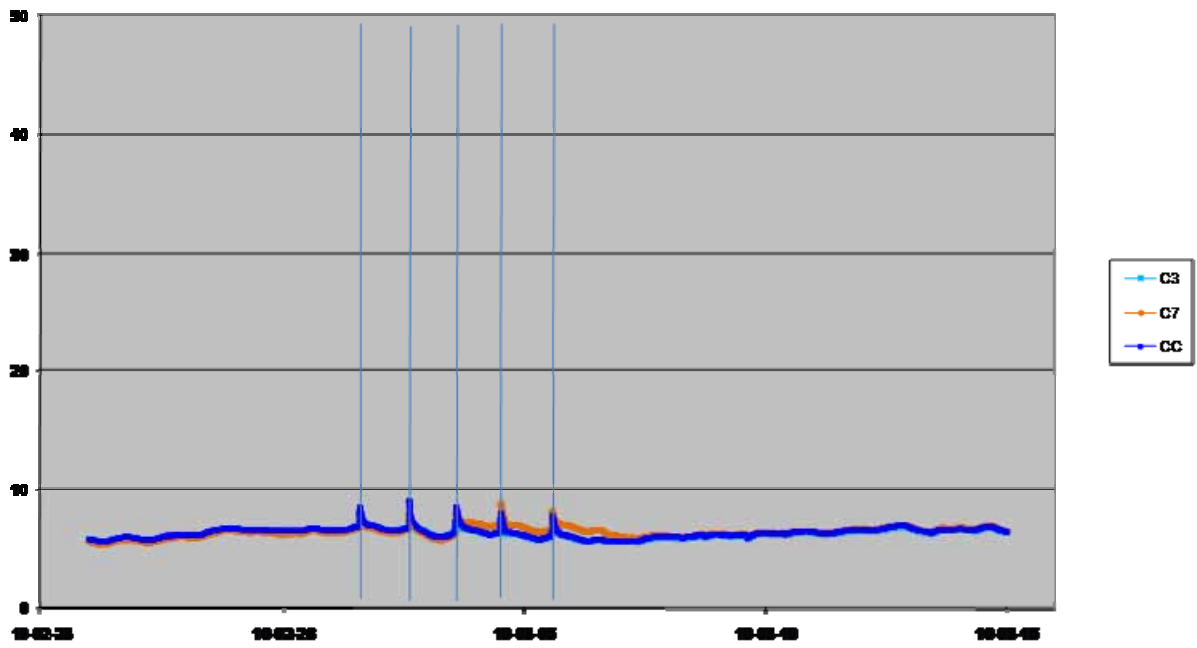
Figur B2:24 \Rightarrow Sensor C7, vägg höger



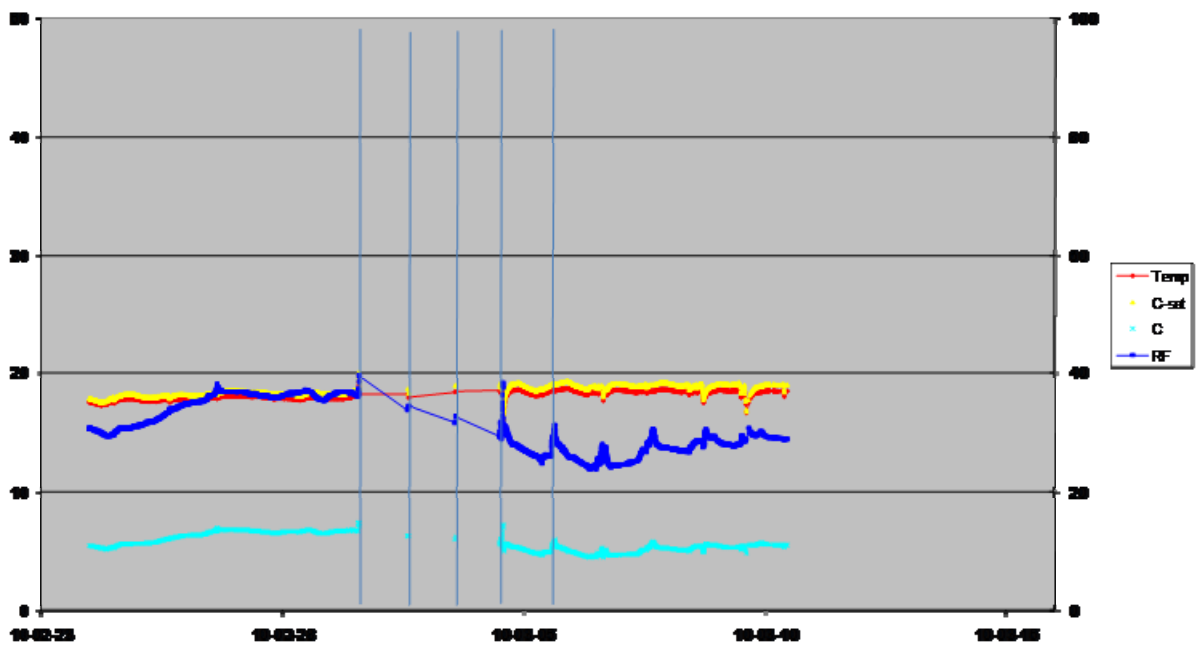
Figur B2:25 ⇒ Sensor CC, vagg höger



Figur B2:26 ⇒ Sammanställning RF, vagg höger



Figur B2:27 \Rightarrow Sammanställning ånghalt, vägg höger



Figur B2:28 \Rightarrow Sensor C8, rumsluft