

# Trådlös RF-mätning i byggbranschen

FuktCentrum i Lund har tillsammans med Imego, Institutet för mikroelektronik i Göteborg sammanställt hur byggbranschen behov av fuktmätning kan se ut i morgon. Dessa behov utgjorde sedan startpunkten för en inventering av befintliga komponenter och utrustningar som kan användas för trådlös fuktmätning på byggarbetsplatser.

Byggbranschen liksom samhället i stort går mot en utveckling där trådlösa sensorer och loggande mätningar spelar en allt större roll. Flera av de aktörer som arbetar med fuktskydd och fuktmätningar inom byggbranschen tror att de snart kommer att hamna i ett läge där de vill utföra stora mängder loggande mätningar, gärna med trådlösa instrument, under byggskedet. Redan i dag finns det en RBK-godkänd utrustning för loggade temperatur- och RF-mätningar i betong, det är Betongdatorn som Betongtekniskt centrum, Skanska har utvecklat. Betongdatorn är dessutom nästan helt trådlös då den endast fordrar en kort anslutningskabel mellan mätunkten och sändaren som står i förbindelse med en GSM-länk som i sin tur kan överföra mätdata till kontoret. När det gäller RF-mätning i labb på uttagna betongprover är det redan i dag, i praktiken, ett krav med loggande mätningar enligt RBK. Anledningen är att mätosäkerheten minskar markant vid loggning eftersom man då kan följa förloppet och tydligt ser plötsliga och oväntade störningar.

## Behov av RF-mätning under byggskedet

Sammanställningen, som i huvudsak gjordes på avdelningen för Byggnadsmaterial som ingår i FuktCentrum vid LTH, visade att behovet av fuktmätning ser olika ut i olika skeden av byggnadens liv. Kartläggningen riktar sig i första hand till dem som inte har någon kunskap om fuktproblem i byggbranschen, exempelvis aktörer inom elektronik- eller mätteknikindustrin som behöver mer kunskap om sin tekniks tillämpningar. Byggskedet var den i särklass mest kritiska perioden ur fuktteknisk

synvinkel. Då är många av materialen som normalt finns inne i husets byggnadsdelar, ibland under lång tid, blottade mot regn och annan fuktpåverkan utifrån.

Det mest påtagliga behovet för byggarbetsplatsen är att kontrollera uttorkning av kvarvarande byggfukt. Med byggfukt menas ofta den mängd fukt ( $\text{kg/m}^3$ ) som behöver torkas bort för att ett material ska bli "torrt", det vill säga komma i jämvikt med omgivningen. I figur 1 visas att ett material med en initial relativ fuktighet av 100 procent (RF) även innehåller en ansevärd mängd överskottsvatten som måste torkas bort innan fukttillståndet blir acceptabelt och underskrider en kritisk nivå,  $\text{RF}_{\text{OK}}$ .

Byggfukt uppkommer naturligt vid tillverkning av många av våra vanligaste byggnadsmaterial. I de fall materialet "tillverkats" direkt på byggarbetsplatsen måste uttorkning av byggfukt naturligtvis ske under byggtiden, exempel kan vara gjutning av en betongkonstruktion. I andra fall kan byggfukten torkas ut av materialtillverkaren innan det transporteras från fabriken.

För att förhindra framtida problem med kvarvarande fukt bör man också kontrollera fuktnivån hos de material som levereras till arbetsplats. Fuktnivå som materialen uppges hålla vid leverans är många gånger kopplat till kritiska nivåer för beständighet och ibland även till regler



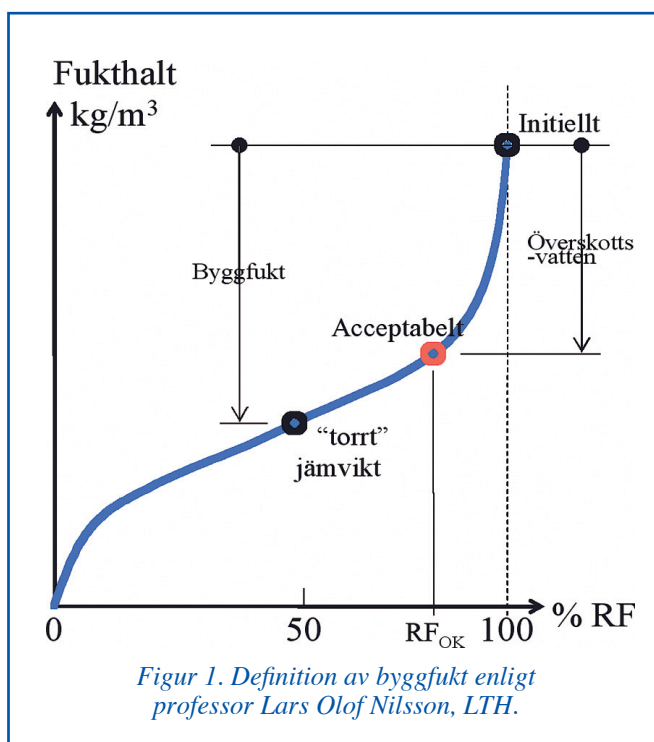
Artikelförfattare är Anders Sjöberg vid Lunds Tekniska Högskola samt Jakob Blomgren vid Imego, Institutet för mikroelektronik i Göteborg.

för ansvarsförhållandet. Det är inte heller ovanligt att man vill vara försiktig och beställer ett torrare material till arbetsplatsen för att få en extra säkerhet mot fuktskador. Och i de fallen finns det alla skäl att kontrollera att fukten i leveransen verkligen stämmer med den beställda nivån.

I väntan på montage är det också viktigt att lagra byggnadsmaterialen på en torr och klimatskyddad plats. Framst handlar det om att inte riskera att de material som torkats tidigare ska komma att fuktas upp igen. Fuktnivån i känsliga material kan i dessa fall behöva övervakas eftersom det vanligtvis inte finns några ordentliga lagringslokaler i anslutning till en byggarbetsplats. Oftast sker lagringen av materialet i tillfälliga lösningar såsom tält, övertäckta med pressningar eller att delar av den byggnad som byggs utnyttjas för lagring.

Det är än så länge ganska ovanligt med ett komplett väderskyddat byggande där man klär in hela byggobjektet med ett tält. Ur fuktsäkerhetssynpunkt är denna teknik önskvärd eftersom väderskyddets primära uppgift är att hindra nederbörden att fukta upp byggnaden innan dess eget klimatskal är på plats. Dock behöver man ofta ta hand om tillskjutande markfukt och byggfukt i väderskyddet för att få ett gott torkklimat. En positiv bieffekt med väderskyddat byggande är att arbetsklimatet blir mildare under stora delar av byggsäsongen eftersom vind, nederbörd och i viss mån även kylan stängs ute av tältet.

Det vanligaste är dock att byggnadens klimatskal även får fungera som väderskydd under



byggprocessen. Detta innebär med andra ord att väderskyddet är högst begränsat under långa perioder i början av projektet och att klimatet kan behöva övervakas, speciellt innan yttertak och ytterväggarna, med samtliga dörrar och fönster, kommit på plats.

### Behov av RF-mätning under bruksperioden

Under bruksperioden utsätts en byggnad för många olika typer av långvariga fuktbelastningar. Bland annat kan beständigheten påverkas om fuktnivån i känsliga byggnadsdelar överstiger en kritisk fuktnivå. I många utsatta fall kan man dock välja en robust och fuksäker lösning. För vissa kritiska eller karakteristiska platser, speciellt där man använt en "erfarenhetsbaserad" lösning, kan det vara ett värdefullt verktyg att kunna följa och kontrollera fuktillståndet. Förvaltaren får på så sätt en tidig förvarning om byggnadsdelen inte fungerar som avsett, och kan åtgärda detta innan skadan blivit allt för omfattande.

Det finns även ett behov att följa och kontrollera byggnadsdelar som tidvis under året har klimatförhållanden som ligger nära gränsen av vad de tål. Mest utsatta är krypgrunder, kallvindar och andra byggnadsdelarna som har det gemensamt att de i hög grad påverkas av uteluftsvariationer. En onormalt kall vinter eller regning höst kan många gånger innebära att det uppkommer omfattande skador hos de känsligaste konstruktionerna.

Ett betydande fuktproblem som inte i detalj kan förutses på samma sätt är läckage och olyckshändelser. Det handlar då oftast om plötsliga och oförutsedda händelser som många gånger har en begränsad utbredning. Dock kan skadeförloppet vara mycket snabbt och konsekvenserna bli omfattande om åtgärder inte sätts in omgående. I vissa fall kan man minska följskadorna genom att exempelvis styra fuktflödet från en eventuell läcka någonstans i ett stort område till en viss punkt där en vakt placeras. Mer om detta går att läsa i Vaska (2002). I andra fall är det nödvändigt att placera ut ett större antal vakter i anslutning till varandra för att täcka in området i fråga.

Vid en ombyggnad eller annan förändringar av en byggnad bör man dessutom kontrollera om detta kan leda till att viktiga funktioner inte längre upprätthålls på ursprungligt sätt. Exempelvis kan en tegelfasad hamna i ett fuktkritiskt tillstånd efter att en invändig isolering utförts.

### Prioriterade mätsituationer

Många av parterna som är inblandade i byggprocessen har sina egna syften med att vilja mäta fukt. För att en mätsituation



*Handhållen avläsningsenhet samt magnoelastisk fuktsensor som utvecklats vid Imego, Institutet för mikroelektronik i Göteborg.*

ska bedömas vara prioriterad måste det finns ett starkt incitament av något slag, helst ekonomiskt, att utföra mätningen. För entreprenören kan incitamentet vara att försäkra sig om att han *gör rätt*. RF-mätningar utgör en del i entreprenörens egenkontroll angående fukt och här ingår bland annat att kunna utföra verifierande fuktmätningar i samband med överlämnandet av den färdiga byggnaden. För beställaren kan incitamentet istället vara att kontrollerar att allt blev rätt vid bygget av huset. Ibland vill han också ha mätningarna som under lång tid kan vakta och varna om byggnadens fuktskydd inte fungerar som det var avsett.

Utifrån de behov som framkommit i studien sammanställdes kravspecifikationer till tre olika mätsituationer som bör prioriteras i kommande arbeten.

En av dessa prioriterade mätsituationer är "svåråtkomliga mätpunkter" som ofta är belägna inuti konstruktioner. Denna mätsituation kräver en sensor med ett stort mätområde som helst tål fritt vatten och är inbyggbar i olika typer av konstruktioner. Den ska kunna leverera mätvärden under en längre tidsperiod utan underhåll eftersom det ofta är svårt och i vissa fall omöjligt att komma åt sensorerna om de krånglar. En hög noggrannhet är önskvärd men det är ofta viktigare att med stor säkerhet kunna följa förlopp och förändringar. Räckvidden för trådlös avläsningen bör åtminstone klara någon decimeter betong om man använder ett bärbart avläsningsinstrument, eller mycket längre sträckor om en stationär mätvärdesinsamlingspunkt ska användas. Exempel på denna mätsituation kan vara fuktmätning under en syll, inuti en utfackningsvägg eller i en kanal i ett HD/F-element. Sensorn bör dessutom vara liten och till vissa tillämpningar helst platt. Kostnaden för en enskild mätpunkt bör begränsas till någon hundralapp medan en helhetslösning för ett

större byggprojekt kan få kosta tiotusentals kronor.

En annan av mätsituationer som bör prioriteras är "svåröverskådliga mätningar". Exempel på detta är när man vill kunna följa och kontrollera (uttorknings-) klimatet på många olika ställen i en byggnad, det kan handla om ett väderskydd men också om en kryprumsgrund eller en kallvind. I den här tillämpningen är det viktigare att sensorn kan följa förlopp och förändringar med stor säkerhet än att den ger exakta absolutvärden på fuktnivån. Denna mätsituation kräver en sensor med stort mätområde och med tillräcklig räckvidd för att kunna kommunicera med en mätvärdesinsamlingspunkt som placerats centralt på byggarbetsplatsen. Mätvärdena kan sedan sammanställas och presenteras centralt, exempelvis på en internetansluten PC. Dessa sensorer är ofta placerade så att de kan servas och få batterier utbyta. Precis som i förra mätsituationen bör kostnaden för en enskild mätpunkt begränsas till någon hundralapp medan en helhetslösning för ett större byggprojekt kan få kosta tiotusentals kronor.



*Trådlösa sensorer kan placeras i utfackningsväggar samt i betonggolv för att följa uttorkning av byggfukt och samtidigt vaka över plötsliga och oförutsedda händelser.*

Den tredje mätsituationen är "precisa mätningar" som ska kunna verifiera trendmätningar, ofta som dokumentation mot kunden. Ibland kan mätresultat i ett stort mätintervall och med hög noggrannhet behövas för att verifiera ett viktigt mätvärde. Sensorerna för denna tillämpning kan behöva utformas för varje enskild mätsituation för att ge minsta möjliga osäkerhet vid mätningar av den absoluta fuktnivån. Räckvidden för trådlös överföring till ett handhållet avläsningsinstrument behöver bara vara tillräcklig för att nå genom materialet, kanske någon decimeter betong som mest. Exempel på denna situation kan vara den mätning som utförs under uttorkning av betongbjälklag för att verifiera fuktnivån innan mattläggning. I det fallet är det viktigt att med



största möjliga noggrannhet mäta RF, temp samt givarens djup i konstruktionen. Sensorerna kan vara av engångstyp eller återanvändningsbara och mätningarna får enligt dagens prisnivå kosta några tusen kr för ett stort betonggolvs inklusive dokumentation.

### Utprovning av mätutrustning

Imego, som är ett mikroelektroniskt forsknings- och utvecklingsinstitut beläget på Chalmersområdet i Göteborg, har gjort en inventering av befintliga komponenter och mätsystem, utanför byggbranschen, som kan användas i system för trådlös fuktmetning. Utifrån resultatet av inventeringen föreslogs tre olika system som matchar byggbranschens krav. Två av dessa system ska under 2006 utvärderas på arbetsplatser under riktiga förhållanden av BI, FoU-syd i samarbete med

byggfukt. Exempelvis kan uttorkningen av byggfukt följas med kvarstående givare i ett betongbjälklag på samma sätt som med Skanskas Betongdatorn.

Systemet ska utformas så att mätpunkter för betonggolvs ska kunna sitta kvar och leverera mätvärden även efter att i golvkonstruktionen avjämnats och belagts med sitt slutliga ytskikt. Dessutom är det tänkt att torkklimatet på platsen samt annan utrustning som exempelvis luftvärmare och avfuktare ska kunna övervakas med samma system. På så sätt kan materialets uttorkning tillsammans med utrustningens prestanda följas i "realtid" på distans, vilket i hög grad kommer att underlätta utvärderingen om det är något som inte stämmer.

Det andra systemet som man ska prova på arbetsplats benämns "handhållna lösningar". Detta system har en lägre kom-

kumenteras tillsammans med de erfarenheter som gjordes på arbetsplatsen.

Det förslag man valde att inte gå vidare med var ett system för "Indikering över stora områden". De flesta lösningar som hittades vid inventeringen bygger på mikroavstånd. Samtliga av dessa uppvisar en potential för att kunna användas till indikering av fuktförhållanden över stora områden samt fuktgradienter i material. Mikroavståndstekniken kan, jämfört med dagens kapacitiva indikatorer, ge en bättre bild med större upplösning av resultatet, speciellt av hur fuktfördelningen ser ut på större djup inne i konstruktionen. Men denna teknik har ett avsevärt högre pris än dagens kapacitiva indikationer.

### En framtida vision

I rapporten från Fuktcentrum och Imego tecknas avslutningsvis en framtida vision för fuktmetning på byggarbetsplatsen där ett tillförlitligt, enkelt och överskådligt system bevakar allting – samtidigt.

Författarna beskriver att detta framtida system kan bestå av givare som monteras trådlöst på eller i konstruktionen och sedan leverera tillförlitliga mätvärden under hela byggnadens livslängd, helst utan underhåll av typen batteribyte eller kalibrering.

Det tillförlitliga mätresultatet från givarna lagras på en server och redovisas, efter inloggning, direkt på skärmen hos en internetansluten dator. Mätresultatet presenteras i form av en profil genom konstruktionen tillsammans med redovisning av omgivande torkklimat. Flera givare kan sammantaget ge en tredimensionell bild av fuktförhållandet i en byggnadsdel eller i hela byggnaden.

Ett prognosverktyg av typen TorkS2 kan vara kopplat till resultatredovisningen så att ett förväntat torkförlopp kan jämföras med de uppmätta värdena. I fallet med en tredimensionell redovisning kan stopplysets färger användas för att enkelt symbolisera fuktteknisk status och skillnader från förväntat beteende hos olika delarna av byggnaden.

Grönt – byggnadsdelen är kontinuerligt torrare än uppsatt gränsvärde.

Gult – byggnadsdelen är fuktigare än uppsatt gränsvärde men torkar enligt prognos.

Rött – byggnadsdelen är fuktigare än uppsatt gränsvärde och torkar inte enligt prognos. ■

### Referenser

Sjöberg A, Blomgren J. 2004. *Fuktmetning med trådlösa sensorer inom byggindustrin*. Avdelning byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Rapport TVBM-3123. [www.byggnadsmaterial.lth.se/tvbm-3123](http://www.byggnadsmaterial.lth.se/tvbm-3123).

Vaska, 2002. *Vattenskadeundersökningen*. Vattenskador i byggnader, redovisning. VVS-installatörerna. Stockholm.



*Betongdatorn är exempel på ett trådlöst mätsystem för RF i betong som utvecklats av Skanska.*

FuktCentrum, Imego, NCC, Munters torkteknik och RBK.

Ett av systemen som man ska prova på några olika arbetsplatser under året är ett "system för många mätpunkter". Det består av ett nätverk med små pålitliga och driftsäkra sensorer, ett antal återsändare för att öka räckvidden samt en centralt placerad enhet för datainsamling. Datainsamlingspunkten ska anslutas till internet eller ett GSM-modem för fjärranslutning och central datalagring. Mätresultatet är sedan åtkomligt genom inloggning från vilken internetansluten dator som helst. Detta system är tänkt att öppna möjligheten för en person med specialistkunskap att övervaka flera olika byggen eller torkplatser samtidigt. Utrustningen är tänkt att användas för mätningar i uttorkningsklimatet på byggarbetsplatsen, i fukt känsliga konstruktioner samt i material med

plexitetsnivå än det ovanstående och lämpar sig bättre för små byggarbetsplatser. Systemet baseras på små tunna sensorer bestående av en magnetoelektisk film som är belagt med ett fuktabsorberande material. Vid mättillfället skickar handenheten ut en magnetisk puls som får sensorn att börja svänga. Dessa svängningar fångas upp igen av handenheten och fukttillståndet beräknas sedan utifrån frekvensen.

Denna utrustning kan bland annat användas för mätningar i "ihåliga" konstruktioner som är enkla att komma nära. I mätningarna på byggarbetsplatserna planerar man att montera ett antal sensorer ovanpå syllar i utfackningsväggar och på andra intressanta platser. Sensorerna mäts sedan av med en tids mellanrum och parallellt utförs mätningar med traditionella metoder. Resultatet från de parallella mätningarna ska sedan utvärderas och do-