



LUND UNIVERSITY

Trådlös kommunikation med radiosändare ingjutna i betong

Åhs, Magnus

2013

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Åhs, M. (2013). *Trådlös kommunikation med radiosändare ingjutna i betong*. (Rapport TVBM; Vol. 3170). Byggnadsmaterial LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

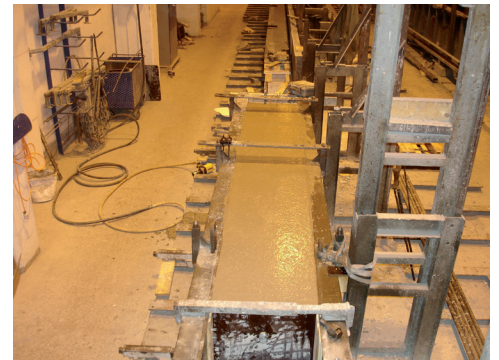
Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Trådlös kommunikation med radiosändare ingjutna i betong



av
Magnus Åhs

Ett projekt
inom FoU Syd

Trådlös kommunikation med radiosändare ingjutna i betong

Magnus Åhs



LUND UNIVERSITY

ISRN LUTVDG/TVBM--13/3170--SE(1-31)

ISSN 0348-7911 TVBM

Lunds Universitet
Avd. Byggnadsmaterial
Box 118
221 00 Lund

Telefon:+46 46 222 74 15
Telefax:+46 46 222 44 27
www.byggnadsmaterial.lth.se

Förord

Det här projektet har utförts på avdelningen Byggnadsmaterial vid Lunds tekniska högskola i nära samarbete med Electrotech. Arbetet har utförts inom SBUF projektet “Mätstudier med trådlösa sensorer ingjutna i betong - delstudie, utformning av ytmonterad antenn samt fältförsök”, projektnummer 12615. Projektledare för den här studien är Magnus Åhs, på avdelning Byggnadsmaterial.

Projektet genomfördes i två huvuddelar, dels som ett laborationsförsök och dels som ett pilotprojekt. Laborationsförsöket genomfördes av Electrotech och resultatet redovisas i Bilaga 1.

Följande personer har förtjänstfullt ingått i referensgruppen för den här studien.

Henrik Hyll, NCC
Juha Rajala, Electrotech
Ronny Andersson, Cementa
Robert Larsson, Cementa
Lars Gutwasser, PEAB
Peter Weywadt, Sydsten
Patrik Bengtsson, Skanska
Örjan Petersson, Strängbetong
Britt Borgström, Sveriges Byggindustrier FoU Syd
Corfitz Nelson, Sveriges Byggindustrier FoU Syd

Projektet har samordnats av Magnus Åhs, Corfitz Nelson och Britt Borgström, FoU Syd och samfinansierats av Cementa, Electrotech, Strängbetong och SBUF genom Henrik Hyll, NCC Construction Sweden.

Lund, januari 2013
Magnus Åhs

Nyckelord

Trådlös kommunikation, armerad betong, radioöverföring, temperatur, signalstyrka, RFID-Tag

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Trådlös kommunikation	3
1.2	Signaldämpning	3
2	Sändare ingjutna i betongkonstruktion av begränsad storlek	5
3	Pilotstudie	7
3.1	Byggnadsdel - pelare	8
3.2	Betongkvalitet	9
3.3	RFID-taggar	9
3.4	Masterenhet	12
4	Resultat och diskussion	13
4.1	Signalstyrka	13
4.2	Taggar utan förstärkare	17
4.3	Taggar med förstärkare	20
4.4	Referenstaggar	23
4.5	Temperatur	24
5	Slutsats	27
	Litteraturförteckning	29
	Bilaga	31

Kapitel 1

Introduktion

Det har under lång tid funnits ett intresse av att mäta olika storheter, såsom temperatur och fuktighet, i färsk och hårdnad betong. Dessa båda storheter är intressanta dels för att bedöma hållfastheten i betongkonstruktionen och dels för att bedöma när det går att lägga fuktkänsliga material på en betongyta. En detaljerad uppföljning av temperatur/fuktighet innebär mycket manuellt arbete. För att undvika detta manuella arbete har automatiska dataloggningssystem utvecklats.

Trådbunden mätning och loggning av temperatur i betong har varit möjlig under många år i labbmiljö. Sedan tjugo trettio år finns det kommersiella system tillgängliga som loggar data genom att ansluta en temperatursensor till en datalogger. Dataöverföringen i dessa system sker med en tråd som dras från en sensor till en relativt stor datalogger som behöver strömförsörjning.

Mätning av relativ fuktighet genomförs genom att borra ett hål i den hårdnande betongen och placera en sensor som sedan avläses manuellt med ett instrument eller en datasamlare. Metoden kräver en hel del manuellt arbete i samband med att utrustning ska installeras och monteras bort.

Ett trådlöst system utvecklades för cirka 10 år sedan för att logga relativ fuktighet, RF, i betong. Det systemet var i huvudsak trådlöst, men i anslutning till mätpunkten fanns en relativt stor radiosändare kopplad till mätsensorerna inuti betongkonstruktionen. Radiosändaren satt utanför betongkonstruktionen och sänd till en datalogger som var kopplad till en GSM-modul. Det systemet gick också att läsa av med ett datorprogram via GSM-nätet. Radiosändaren som användes i systemet var dels för stor för att gutas in och dels befärades radiosignalerna dämpas för mycket av betongen.

Betong är ett väldigt tätt material med en hög densitet vilka båda egenskaper effektivt skärmar av radiosignaler. Det krävs antingen en hög signalstyrka, sändningseffekt i watt (W) eller (dBm), hos sändare för att nå ut från betong eller en hög känslighet hos mottagare för att en låg signalstyrka ska kunna uppfattas.

Radiosändarens signalstyrka drar mycket ström och kräver stor batterikapacitet medans känsligheten hos mottagaren inte gör det. Utvecklingen går hela tiden framåt och känsligheten hos mottagarna ökar. Nu finns det små mottagare som uppfattar signaler med en signalstyrka av -100 dBm, vilket innebär att de är känsliga.

Mycket skulle vara vunnet om det skulle gå att mäta både temperatur och relativ fuktighet med trådlösa sensorer som gjuts in i konstruktionen. Dels skulle givarna vara skyddade från yttre påverkan från det att betongen placerats i formen. Dels skulle det innebära att göra att installationen blev enklare i fallet då RF ska mätas. Istället för att borra ett hål i hård betong och därefter placera sensorn i ett plaströr och kontrollera att montaget är tätt, gjuts sensorn in.

Andra exempel på nyttan med ingjutna sensorer är att det skulle det vara möjligt att följa upp temperaturutveckling, hållfasthetsutveckling och uttorkningen även efter att byggnaden är tagen i bruk.

Byggindustrin arbetar aktivt med att föra in industrialiserat tänkande i byggprocessen. En del i detta är planering och kontroll av material och produktion. Trådlösa sensorer kopplade till ett trådlöst nätverk används för detta i stor omfattning och med god erfarenhet inom många andra sektorer och företag.

Detta projekt baserar sig på möjligheterna för kontinuerlig och trådlös övervakning av betongbetongkonstruktion under härdnings-, uttorknings- och driftskedet. Denna möjlighet är direkt av betydelse för många anläggningsprojekt med tyngre betongkonstruktioner och för kvalitetssäkring av prefabricerade produkter avseende härdning och uttorkning. I förlängningen är det av betydelse även för övriga konstruktioner.

Målen med denna delstudie är att säkerställa överföringen av signaler från en trådlös sensor ingjuten i betong som har en ytmonterad antenn. Den här delstudien fokuserar specifikt på att utveckla en ytmonterad antenn som kopplas till en ingjuten givare i en betongkonstruktion. När den antennen är utvecklad ska ett system användbart för byggarbetsplatser i fält utprovas i en pilotstudie.

1.1 Trådlös kommunikation

Ett trådlöst mätsystem bygger i huvudsak på att den trådlösa kommunikationen mellan sändare och mottagare fungerar. Dessa sändare och mottagare finns både i den ingjutna *taggen* och i masterenheten och funktionen hos systemet begränsas av att signalerna når fram till mottagaren i endera riktning. Masterenheten kan sedan kopplas till ett GPRS-modem som står i kontakt med en server kopplad till internet. Detta gör att mätningen kan övervakas på distans från en dator kopplad till internet.

Det är viktigt att masterenheten kan uppfatta signaler från den ingjutna *taggen* och ladda ner mätresultat, men det är också viktigt att kommunikationen fungerar åt andra hållet. Via ett datorprogram kan masterenheten styras och vidarebefordra signaler till *taggarna* om ändring av mätintervall och överföringsintervall. Det är praktiskt att kunna ändra dessa intervall under en mätning för att till exempel öka livslängden hos *taggen*. Både *tag* och masterenhet mäter signalstyrkan som den uppfattar från inkommande signaler.

1.2 Signaldämpning

Signaler från radiosändare dämpas av många olika skäl och inverkan av olika faktorer är komplexa. Här följer en kortfattad och förenklad beskrivning som översiktligt förklarar olika faktorer påverkan på signaldämpningen.

Signalen som sänds ut från en radiosändare har en viss effekt, signalstyrka, och anges i enheten watt, W, eller dBm. Den signalen färdas genom olika medium på sin väg till mottagaren, dessutom kan den också nå mottagaren via en eller flera reflektioner mot materialytor. Varje passage genom ett medium, även luft, innebär förluster och de är olika stora beroende på mediets egenskaper. Likaså innebär reflektioner förluster i signalstyrka, en mjuk yta innebär större förluster och en hård yta innebär mindre förluster. Genom dessa förluster på vägen når signalen inte fram i ursprunglig signalstyrka, signalen dämpas. Signalstyrkor anges typiskt i effekt i watt W, men också i dBm, och omräkning mellan dessa enheter kan göras med Ekvation 1.1,

$$L_{dB} = 10 \log_{10} \cdot P \quad (1.1)$$

där L_{dB} är värdet i dBm och P är effekten i milliwattm, mW.

Först och främst påverkar avståndet från signalkällan. Dessutom dämpas signalen av vilket medium som den fortplantas igenom, till exempel luft, vatten, betong och stål. Till detta kommer en dämpning om signalen inte går direkt till mottagare, utan

när den först efter att ha reflekterats från en yta. Ytterligare faktorer som påverkar är nivå över mark och markförhållanden, där det är fördelaktigt att ha en höjdskillnad mellan sändare och mottagare och en hårdgjord yta innebär en minskad dämpning. Till detta kan mottagningen påverkas av hur antennen är riktad i förhållande till signalen.

I vårt fall påverkas dämpningen av några specifika faktorer speciellt betong, armering, formmaterial och avstånd. Betongen som läggs i formen dämpar signalerna från *taggarna*. Signalen dämpas mer om *taggen* ligger djupare in i betongkonstruktionen än om den ligger ytligt. Betongen i byggnadsdelen var tätt armerad i vissa delar av byggnadsdelen och glesare i andra delar. En tätt armerad konstruktion kan vara svårare att sända signaler från men påverkan här förmodligen mindre än påverkan av betongen. Formmaterialet har betydelse för dämpningen av signaler i det tidiga skedet, innan formrivning. En homogen stålform dämpar signalen mycket, medan plyfaskivor som är relativt porösa dämpar avsevärt mycket mindre. Materialet i formen till pelaren bestod av både stål och plyfa och träreglar. Signalstyrkan avtar också med avståndet mellan sändare och mottagare. Den faktorn undersöktes i studien genom att flytta masterenheten så att den var placerad på olika avstånd från pelaren.

Kapitel 2

Sändare ingjutna i betongkonstruktion av begränsad storlek

På Electrotechs parkeringsplats provades överföring av signaler genom nygjuten och härdad betong i ett slaskförsök. Detta test genomfördes genom att montera ett flertal olika konfigurationer av antenn, temperatursensor och sändare/mottagare, i ett antal hinkar som fylldes med betong. Enheten av typen antenn-sändare/mottagare-temperatursensor är ett exempel på en *RFID-tag* och kallas i fortsättningen för en *tag*. *Taggarna* som användes i det här försöket var av en annan typ än vad som provades i en tidigare genomförd studie [1].

Resultatet från slaskförsöket visade att det i praktiken inte skulle behövas någon ytmonterad antenn för att leda ut signalen från betongkonstruktionen med den nya typen av *taggar*. Det visade sig också att det inte var någon signifikant skillnad på uppmätt signalstyrka i den färska betongen jämfört med den härdade. Eftersom slaskförsöket gav så positiva resultat valdes lösningen med en ytmonterad antenn bort.

I nästa försök placerades samma *taggar* ut i en större form som var tänkt att efterlikna en golvkonstruktion med begränsad yta. Resultatet av den undersökningen finns presenterad i en rapport skriven av Electrotech, se Bilaga 1.

Resultatet från det försöket bekräftade resultatet från den inledande undersökningen. Betongens härdningsprocess påverkar inte signalstyrkan nämnvärt. Det innebär att signalstyrkan är lika stor i betongens färska stadium som i dess härdade stadium. Vissa *taggar* tappade kontakten med masterenheten under en begränsad tid men inga mätdata förlorades. Slutsatsen var att det i praktiken inte behövdes någon ytmonterad

2. SÄNDARE INGJUTNA I BETONGKONSTRUKTION AV BEGRÄNSAD STORLEK

antenn för att sända signaler från ingjutna sensorer med utvalda konfigurationer av *taggar*.

Kapitel 3

Pilotstudie

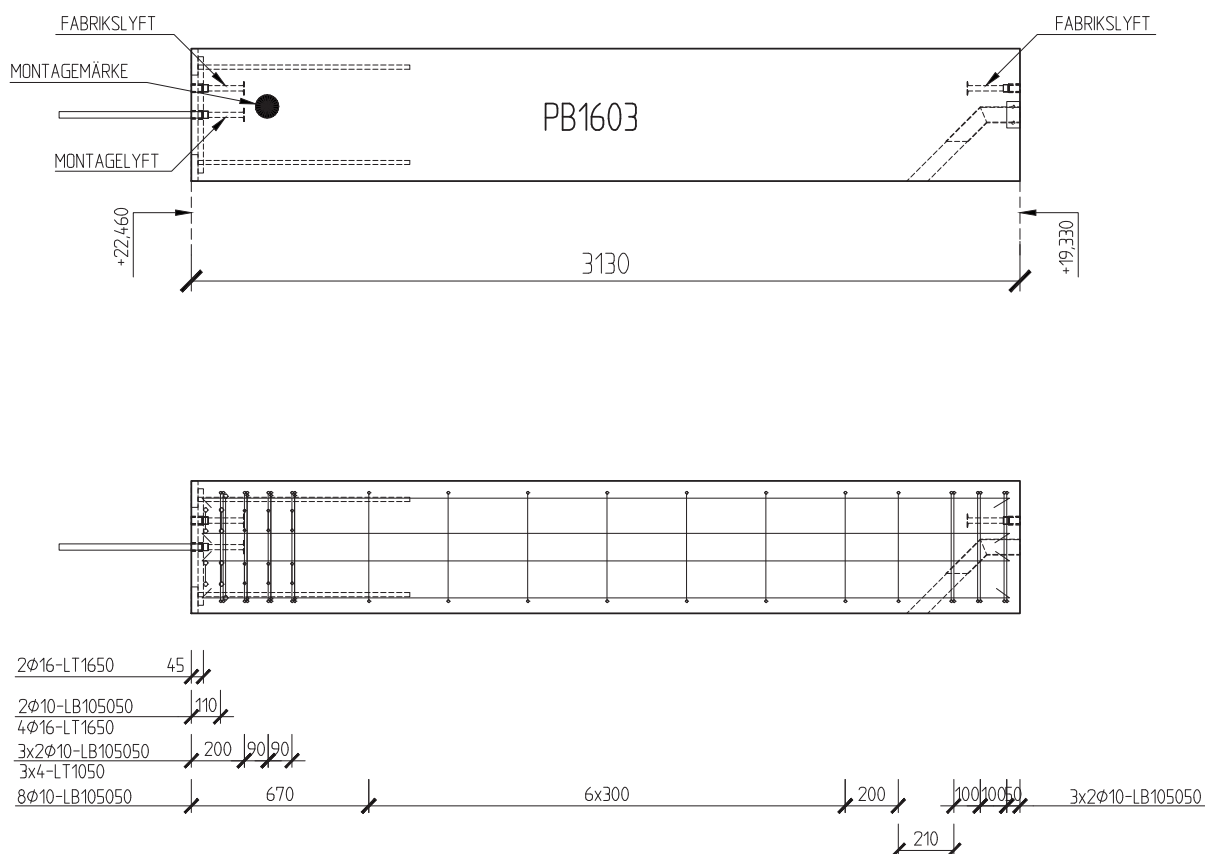
På Strängbetongs fabrik i Långviksmon provades ett trådlöst mätsystem för betongindustrin i en pilotstudie. Mätsystemet är utvecklat för att kunna användas både på arbetsplatser med platsgjuten betong och i prefabindustrin. Systemet består av en liten batteridrivna *RFID-tag* med mätsensor och radiosändare/mottagare, batteridrivna masterenhet. Masterenheten är uppkopplad mot GPRS-nätet och överföring av mätdata sker till en server som är åtkomlig via internet.

Syftet med pilotstudien var att prova systemet i en miljö som liknar en realistisk mätsituation så långt som möjligt. Därför kontaktades några byggarbetsplatser i närheten av Kalix för att få möjlighet att på plats montera mätsystemet i en form till en platsgjuten betongkonstruktion. Det visade sig vara svårt att samordna montage av mätsystem och efterföljande gjutning med kontaktade byggarbetsplatser och projektets arbetsresurser. Det gick enklare att planera in pilotstudien i Strängbetongs fabrik, eftersom gjutningar utförs dagligen där. Den fabrik som användes i pilotstudien var cirka 270 m lång, 45 meter bred på bredaste stället, ungefär 10 m hög och orienterad in nordsydlig riktning. Det trådlösa mätsystemet provades i den uppvärmda delen där all betongproduktion sker. Den delen av fabriken var cirka 210 m lång, 45 m bred och cirka 10 meter hög.

Byggnadsdelen som mätsystemet testades i pilotstudien var en pelare avsedd för ett flervåningshus. Det innebär att pelaren är helt autentisk och ska slutmonteras i ett flerbostadshus i Luleå, efter det här projektet är slutfört.

3.1 Byggnadsdel - pelare

Pelaren var 3130 mm lång och 500×500 mm² i tvärsnittet, se Figur 3.1.



Figur 3.1 Detalj av ritning på pelare, inklusive armeringsritning.

Pelarfornens undersida var av plyfa och cirka 15 mm tjock. Undersidan var avstyvad med fyra jämnt fördelade 45*95 mm träreglar som i sin tur låg på stålbalkar. Pelarsidorna utgjordes av solid stålplåt 6 mm tjock. Kortändarna på formen utgjordes av plyfa 18 mm tjock.

Pelaren göts den 18 december cirka en timme efter att *taggarna* monterats i pelarformen, cirka 13:20. Avformningen skedde tidigt morgonen därpå, den 19 december. Efter avformningen flyttades pelaren 120 meter söder ut och låg kvar där fram till den 3 januari 2013. Därefter flyttades pelaren ut från den uppvärmda fabriks hallen.

3.2 Betongkvalitet

Betongen som användes för pelaren innehöll både snabbcement och byggcement som bindemedel. Bindemedlet var uppdelat i två olika cementtyper för att styra temperaturutvecklingen på ett sätt som passar produktionstakten i fabriken. Snabbcementet har en hög reaktionshastighet och det innebär att sluthållfastheten ökar med ökad andel snabbcement i receptet. Sand och grusfraktionerna är uppdelade i fyra separata fickor, varav två är uppvärmda, betecknat med v i tabellen. Tillsatsmedlet Sikament VS-1, är ett effektivt vattenreducerande flyttillsatsmedel som ger betongen god arbetbarhet och god hållfasthetsutveckling. Det innebär att den är lämplig för självkompakterande betong. Därmed behöver produktionspersonalen inte vibrera betongen för att få en god utfyllnad i formen. Betongreceptet finns redovisat i Tabell 3.1.

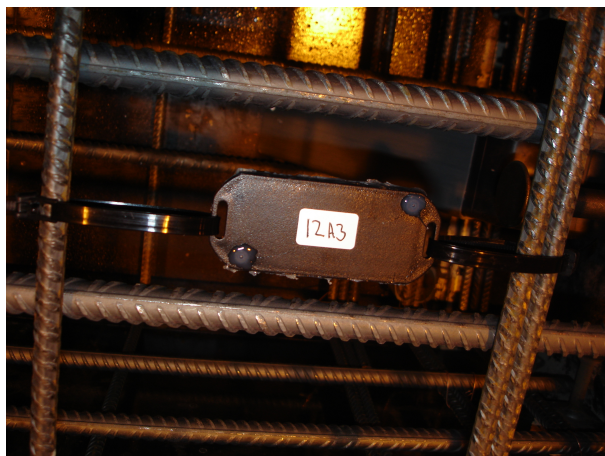
Tabell 3.1 Betongrecept pelare vct 0.4.

Material	Mängd [kg/m ³]
Slite SH	220
Byggcement	220
0-4 sand	395
0-4v	400
4-16	495
4-16v	490
Sikament VS-1	3.96
Varmvatten	173.2

3.3 RFID-taggar

Taggarnas mottagare kan uppfatta en signalstyrka ner till cirka -100 dBm och *taggarnas* sändare har en signalstyrka av +10 dBm (10mW) utan förstärkare och +27 dBm (500 mW) med förstärkare. Frekvensen som används är 868.3 MHz i båda riktningarna, dvs både *taggarna* och masterenheten kommunicerar i frekvensbandet 868.3 MHz.

Den 18:e december monterades sex *taggar* i mätposition i en gjutform till en pelare, se Figur 3.2.



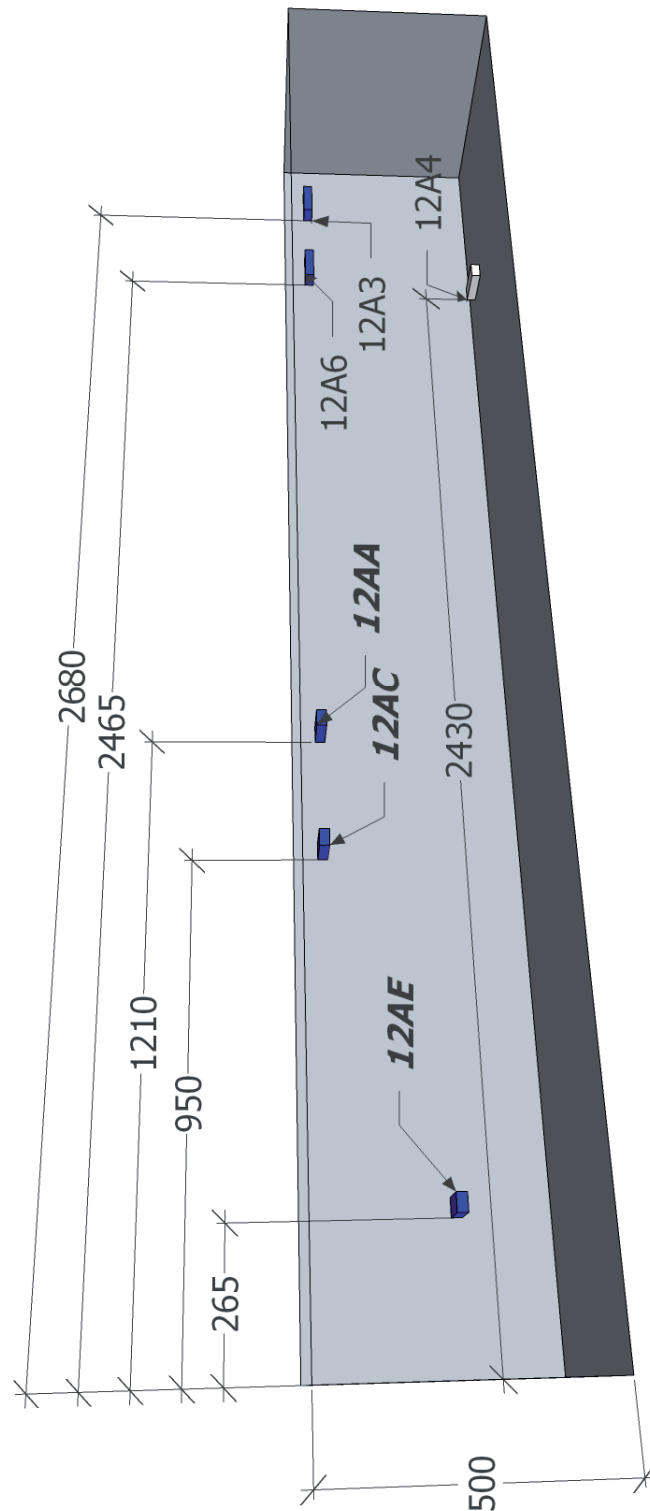
Figur 3.2 Tag 12A3 monterad mellan två armeringsjärn cirka 40 mm under färdig yta betong.

Taggar monterades fast i armeringskorgen med två buntband av plast, ett i vardera ände. Två taggar utan förstärkare monterades cirka 150 mm ovanför formen på ett plåtstag. Dessa två taggar utgjorde en referens som inte göts in betong och var aktiva under en begränsad tid av studien, cirka 6 timmar. Två olika typer av antenner användes i försöket dels en gummiantenn och dels en flexantenn. I Tabell 3.2 finns varje tags antennlösning redovisad. Taggarna monterades på olika djup med olika täckande

Tabell 3.2 Typ av antenn som är kopplad till RFID-tag och används för radioöverföring.

RFID-tag	Konfiguration
12A3	Flexantenn utan förstärkare
12A4	Flexantenn utan förstärkare
12A6	Gummiantenn utan förstärkare
12AA	Flexantenn med utan förstärkare
12AC	Flexantenn med förstärkare
12AE	Gummiantenn med förstärkare
12A5 referens	Flexantenn utan förstärkare
12A7 referens	Gummiantenn utan förstärkare

betongskikt, 40 mm och 265 mm. Fyra av taggarna placerades på ovansidan av pelaren och en tag 12A4 placerades på undersidan av formen. En tag placerades i närheten av pelarcentrum, 265 mm ner från ovanyta betong och 265 mm från pelartopp, se Figur 3.3. Taggar i fetstil **12AE**, **12AC** och **12 AA** representerar enheter med förstärkare och övriga taggar hade inte förstärkare.

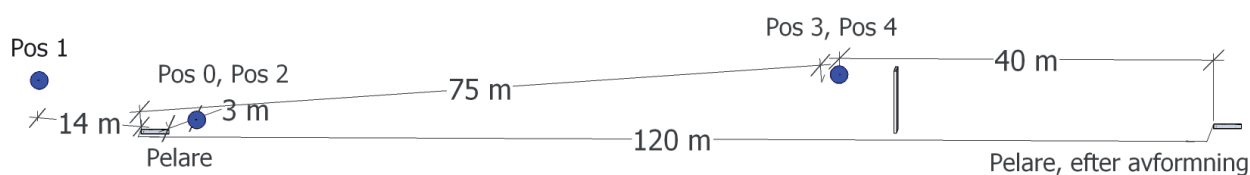


Figur 3.3 Principskiss som visar placering av taggar i pelare.

3.4 Masterenhet

I masterenheten som användes i pilotstudien satt en sändare utan förstärkare, med en signalstyrka av +10 dBm (10mW) och en mottagare som kan uppfatta en signalstyrka ner till cirka -100 dBm.

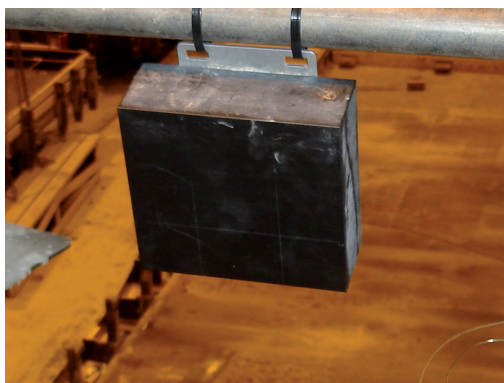
Pilotstudien innebar att signalstyrkan undersöktes genom att flytta masterenheten (mottagare och sändare) till olika positioner med olika avstånd från de ingjutna taggarna i pelaren, se Figur 3.4.



Figur 3.4 En principskiss som visar avstånd mellan sensorer och masterenhet i olika positioner. Masterenheten är markerad med pos 0-pos 4. Notera att pelare flyttats till höger i bild efter avformning.

Efter gjutning och avformning flyttades pelaren från sin ursprungliga position och hamnade ungefär 40 meter från masterenheten bakom en betongvägg, se Figur 3.4, Pos 4.

Masterenheten är tillverkad i ett väldigt robust material och är svart/brunfärgad, se Figur 3.5. Dess design är tänkt att vara så oansenlig som möjligt så att den inte utsätts för skadegörelse eller stjäls.



Figur 3.5 Masterenhet monterad i position 3, cirka 75 meter från pelare.

Kapitel 4

Resultat och diskussion

4.1 Signalstyrka

Signalstyrkan uppmättes både av *taggar* och masterenhet och loggades varannan minut. Dessa data importerades från en datafil som låg på en server och var åtkomlig via internet. Data behandlades och utvärderades sedan med MatLab, en programvara för effektiv behandling av mätdata.

Signalstyrkan är beräknad som ett medelvärde i dBm. Medelvärdet i signalstyrka gäller för en viss tidsperiod som sammanfaller med perioden då master-enheten var placerad på ett visst avstånd från pelaren, pos 0-pos 4. Pos 0 och pos 2 utgör en referensposition för masterenheten där signalstyrkan utvärderades innan och efter fullbordad gjutning. Signalstyrkan registrerades varannan minut och medelvärdet bildades av summan av samtliga registreringar under tidsperioden delat med antalet registreringar.

Medelvärdesbildningen på signalstyrkan är ett mått hur hög signalstyrkan är i medel då signalen väl når fram till mottagaren. Det kan dock vara så att signalen inte når fram alls under delar av den tidsperioden. Signalstyrkan är starkare ju högre värdet är, det innebär att en signalstyrka på -60 dBm är starkare än -70 dBm.

4. RESULTAT OCH DISKUSSION

Medelvärde för signalstyrkan under respektive tidsperiod från enskild *tag* som masterenheten tar emot redovisas i Tabell 4.1. I den högra kolumnen visas skillnaden i signalstyrka mellan pos 0 och pos 2, det vill säga med och utan betong.

Tabell 4.1 *Tidsmedelvärde signalstyrka TxRSSI, som masterenheten uppfattar från respektive tag på olika positioner.*

Tag Namn	Pos 0 [dBm]	Pos 1 [dBm]	Pos 2 [dBm]	Pos 3 [dBm]	Pos 4 [dBm]	Pos 2-Pos 0 [dBm]
12A3	-63	-77	-70	-85	-81	-7
12A4	-54	-91	-89	-91	-94	-35
12A6	-50	-64	-73	-82	-74	-23
12AA	-49	-79	-67	-80	-85	-18
12AC	-46	-68	-70	-70	-70	-24
12AE	-49	—	—	—	—	—
12A5-ref	-73	-79	-71	-86	—	2
12A7-ref	-59	-69	-57	-65	—	2

Signalstyrkan som masterenheten uppfattar från de *taggar* utan förstärkare, 12A3 och 12A6 är sammantaget, cirka 3 dBm, lägre än jämförbara *taggar* med inbyggda förstärkare, **12AA** och **12AC**. *Tag* 12A4 satt också 40 mm under betongytan men på undersidan av pelaren, det vill säga i botten av formen, därför är den inte jämförbar med 12A3 och 12A6.

Två av *taggarna*, *tag* 12A4 och **12AA** saknar värde för signalstyrka under en period av 10 timmar, se figurer 4.3 och 4.5. Det skedde under en större del av tiden då masterenheten var i pos 3, cirka 75 m från pelaren. *Tag* 12A4 återfick aldrig kontakten med masterenheten. *Tag* **12AA** återfick kontakt med masterenheten i pos 3 och tappades sedan inte i pos 4 när pelaren låg på betonggolvet 40 m från masterenheten. Tidsperioden sammanfaller till viss del med att betongen var nygjuten och färsk men det är med stor sannolikhet inte förklaringen till att kontakten tappades. Motsvarande *taggar* har inte påverkats alls av den färska betongen. Däremot satt *tag* **12AA** roterad ett kvarts varv, 90°, jämfört med 12A6 och 12A3 vilket kan påverka signalstyrkan negativt dock är den påverkan kontinuerlig under en hel mätperiod. Å andra sidan var *tag* **12AC** orienterad på samma sätt dvs roterad ett kvarts varv jämfört med 12A6 och 12A3 och *tag* **12AC** tappade aldrig kontakten, se Figur 4.6.

Signalen från *tag* **12AE** tappades i direkt anslutning till gjutning. Det kan vara så att vatten läckte in i *taggen* och förstörde elektroniken permanent eller att signalen

dämpades så kraftigt av betongen att den inte nådde masterenheten. Det gick inte att bestämma det sanna skälet till att signalen tappades mot bakgrund av mätningen. *Tag* 12A5, 12A7 är referenser som inte är ingjutna i betong.

Det framgår tydligt av Tabell 4.1 att betongen dämpar signalstyrkan från *taggarna*. Skillnaden i signalstyrka mellan position pos 0 och pos 2, är mellan -35 dBm och -7 dBm för de ingjutna *taggarna*. Det starkaste påverkan av betongen registreras för *tag* 12A4 där är dämpningen 35 dBm, som ligger i botten på formen och den svagaste påverkan uppgår till 7 dBm, som registreras av *tag* 12A3 som ligger i toppen av formen. Båda dessa resultat ligger som förväntat, de *taggar* som är täckta av 40 mm betong dämpas mindre och den som är täckt av mest betong dämpas mest.

Skillnaden i signalstyrka för *referenstaggarna* som inte är ingjutna är 2 dBm och 3 dBm från pos 0 till pos 2. Signalstyrkan är alltså starkare i pos 2 i båda *referenstaggarna*. Att signalstyrkan är starkare i pos 2 kan betyda att masterenheten inte flyttades till exakt samma plats, men behöver inte betyda det. Skillnaden är marginell och innebär att pos 0 är jämförbar med pos 1 för de ingjutna *taggarna*.

Tabell 4.2, visar medelvärdet för respektive position för signalstyrkan som en enskild *tag* känner av signaler från masterenheten. I den högra kolumnen visas skillnaden i signalstyrka mellan pos 0 och pos 2.

Tabell 4.2 Tidsmedelvärde på signalstyrka $RxRSSI$, som taggen uppfattar från masterenheten, för respektive sändare på olika positioner.

Tag Namn	Pos 0 [dBm]	Pos 1 [dBm]	Pos 2 [dBm]	Pos 3 [dBm]	Pos 4 [dBm]	Pos 2-Pos 0 [dBm]
12A3	-61	-74	-68	-82	-79	-7
12A4	-52	-88	-87	-91	-91	-35
12A6	-46	-63	-72	-79	-73	-26
12AA	-42	-74	-65	-74	-85	-23
12AC	-35	-56	-58	-71	-67	-23
12AE	-34	—	—	—	—	—
12A5-ref	-70	-77	-67	-83	—	3
12A7-ref	-58	-68	-55	-63	—	3

Signalstyrkan som *taggarna* utan förstärkare känner av från signaler sända från masterenheten är någon dBm lägre jämfört med det som masterenheten känner från *taggarna*. I medel är signalstyrkan 2 dBm lägre. Signalstyrkan som de *taggar* med förstärkare uppfattar från masterenheten är mellan 12 och 0 dBm lägre jämfört med det

4. RESULTAT OCH DISKUSSION

masterenheten känner från *taggarnas* förstärkta signal. I medel är signalstyrkan cirka 6 dBm lägre. Det är naturligt eftersom det bara är signalen från *taggen* som är förstärkta och inte signalen från masterenheten.

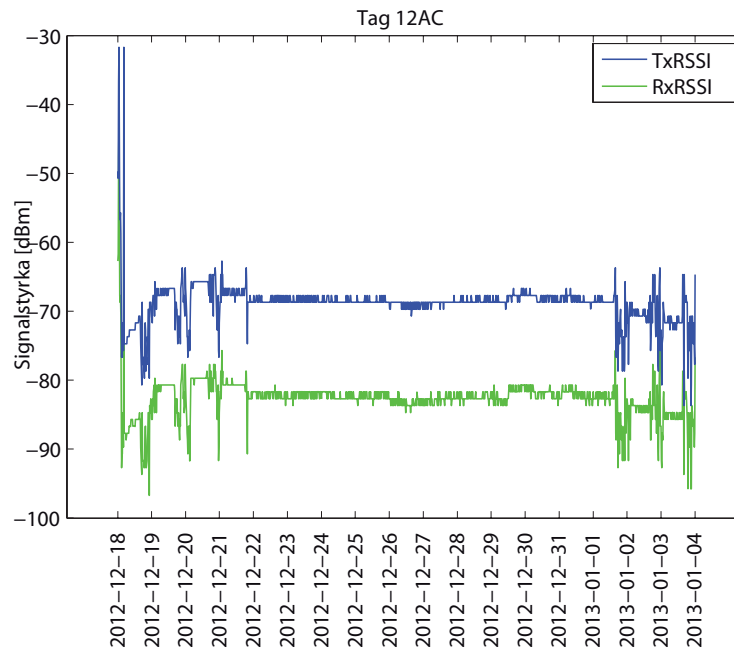
I Tabell 4.3, visas ett medelvärde för alla *taggar* med och utan förstärkning samt *referenstaggarna*. Den tabellen visar i viss mån effektiviteten av förstärkaren.

Tabell 4.3 *Medelvärde signalstyrka för alla taggar med respektive utan förstärkare på respektive position.*

Taggar Namn	Pos 0 [dBm]	Pos 1 [dBm]	Pos 2 [dBm]	Pos 3 [dBm]	Pos 4 [dBm]	Pos 2-Pos 0 [dBm]
Tx Utan förstärkare	-56	-77	-77	-86	-83	-21
Tx Med förstärkare	-48	-74	-69	-75	-78	-21
Tx Referenttaggar	-66	-74	-64	-76	—	2
Rx Utan förstärkare	-53	-75	-76	-84	-81	-23
Rx Med förstärkare	-35	-56	-58	-71	-67	-24
Rx Referenstagg	-64	-73	-61	-73	—	3

När betongen har gjutits så sjunker signalstyrkan med mellan 24 och 21 dBm i medel. Det är en klar försämring men marginalen ner till -100 dBm, är mellan 20 och 40 dBm, vilket får anses vara bra.

Signalstyrkan från *tag 12AC* visas i Figur 4.1.



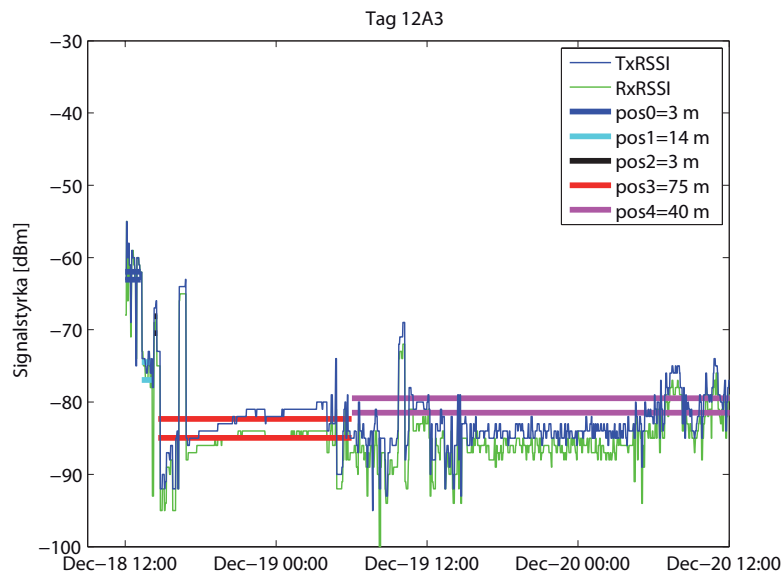
Figur 4.1 Signalstyrka, yligt monterad tag utan förstärkare cirka 40 mm från yta betong.

Det är tydligt att signalstyrkan varierar betydligt under de första dagarna av mätperioden från den 18 - 22 december. Därefter vidtar en period med nästan konstant signalstyrka för att i slutet återigen variera mycket. Denna observation stämmer väl överens med att fabriken var stängd under juluppehållet från den 22 december till den 1 januari. Inga aktiviteter förekom under den perioden som kunde påverka signalstyrkan. Utvärderingen av medelvärde för position 4 påverkas i hög grad av detta. Det var värdefullt att kunna mäta styrkan i signalen under både ostörda förhållanden och varierande förhållanden.

4.2 Taggar utan förstärkare

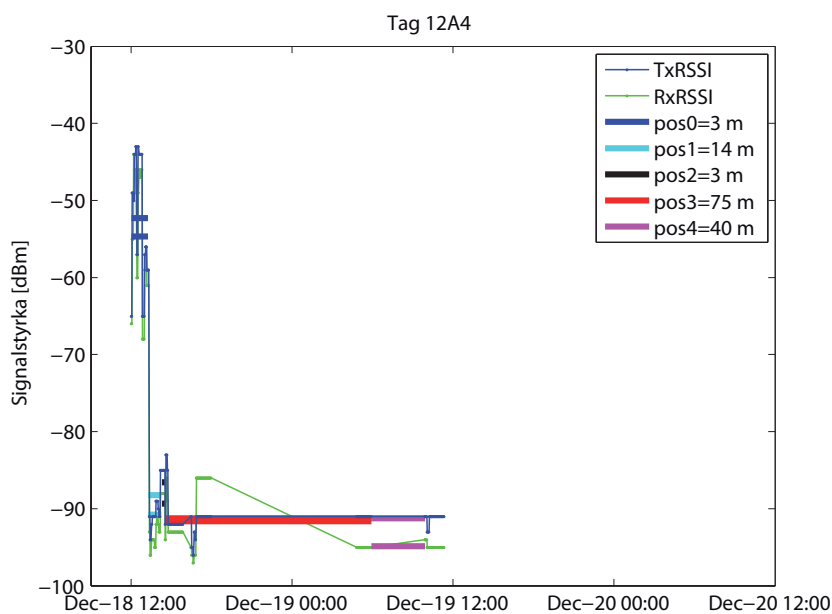
I figur 4.2 visas signalstyrkan för tag 12A3 för de 2 första dyggen i mätperioden. Tag 12A3 sitter 40mm ner från betongytan och är utan förstärkare. Det är tydligt att signalstyrkan sjunker med avståndet och är som lägst cirka -85 dBm i medel. Enstaka värden ligger nere på -90 dBm men de förekommer inte frekvent. Det är cirka 15 till 20 dBm kvar till gränsen för funktion när avståndet mellan pelare och masterenhet är 75 m.

4. RESULTAT OCH DISKUSSION



Figur 4.2 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, yligt monterad tag utan förstärkare cirka 40 mm från yta betong.

Figur 4.3 visar signalstyrkan för tag 12A4 under delar av det första dygnet i mätperioden. Tag 12A4 är utan förstärkare och sitter 450mm ner från den övre betongytan

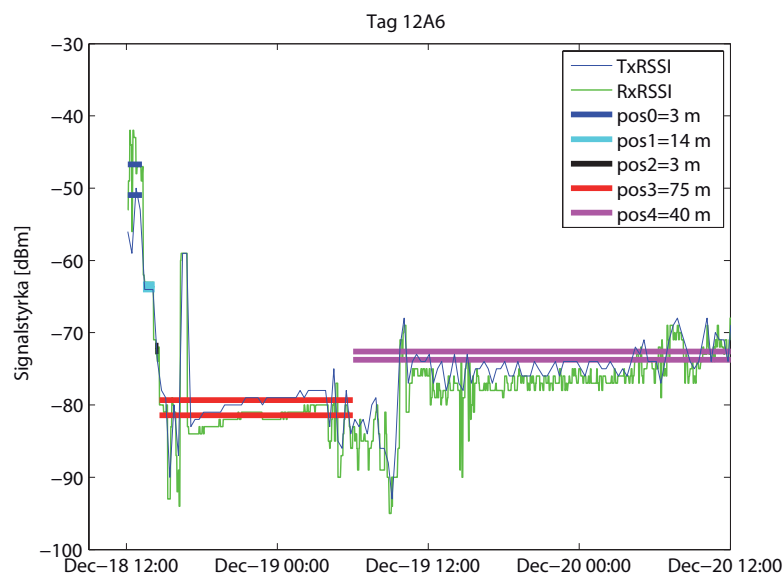


Figur 4.3 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, djupt monterad tag utan förstärkare cirka 450 mm från översida pelare.

och är utan förstärkare. Det är tydligt att signalstyrkan sjunker med avståndet och är

som lägst cirka -95 dBm i medel. Enstaka värden ligger nere på -97 dBm det vill säga på gränsen för radioöverföring mellan *tag* och masterenhet. Signalstyrkan är låg under hela mätperioden och kommunikationen upphör helt under en del av perioden. Efter flytten till position 4 tappas kontakten helt. När pelaren sedan flyttas ut ur byggnaden, den 3 januari 2013, återupptas kontakten under någon minut för att sedan försvinna helt igen redovisas ej i diagrammet. Det är mycket möjligt att signalen inte har gått genom 450 mm betong. En möjlig förklaring är att signalen har smitit ut på undersidan, pelarformens undersida som var av plyfa vilade på träreglar som i sin tur låg på stålbalkar.

Den uppmätta signalstyrkan för *tag* 12A6 under de två första dygnen visas i Figur 4.4. Signalstyrkans variation med position för *tag* 12A6 liknar i princip resultatet från

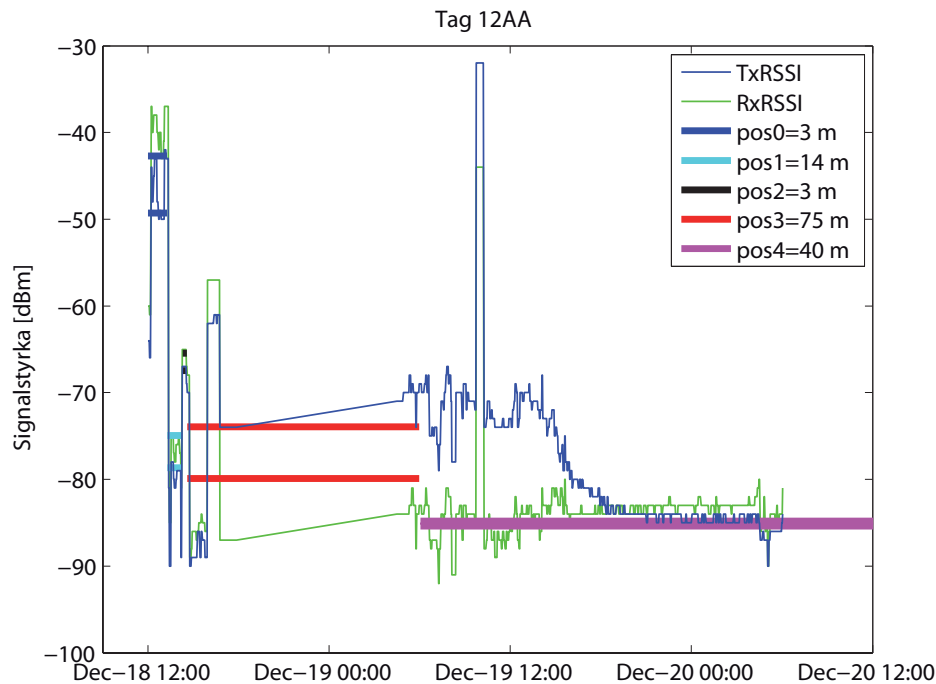


Figur 4.4 Signalstyrka (*tag* och *master*) från olika positioner, medelvärde, ytligt monterad *tag* utan förstärkare cirka 40 mm från yta betong.

tag 12A3. Den stora skillnaden är att den uppmätta signalens styrka är bättre i båda riktningarna. Några enstaka mätpunkter ligger under -90 dBm, men medelvärdet är mellan 80 dBm och 70 dBm, för position 3 respektive position 4.

4.3 Taggar med förstärkare

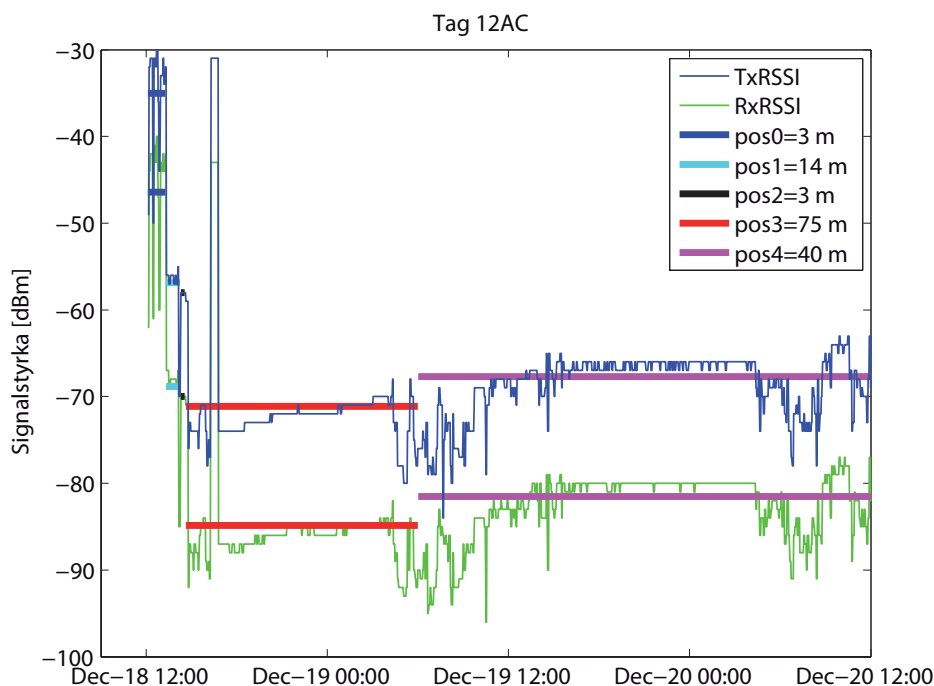
Signalstyrkan från *tag 12AA* under de två första dygnen visas i Figur 4.1. Den registre-



Figur 4.5 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, ytligt monterad tag med förstärkare cirka 45 mm från yta betong.

rade signalstyrkan är sämre när en betongvägg är mellan masterenhet och pelare, än när pelaren ligger kvar i gjutformen 75 m bort med “fri sikt”. Skillnaden i signalstyrka mellan position 3 och position 4 är mellan 5 och 10 dBm. Dock är kommunikationen mellan master och *tag 12AA* helt bruten under 10 timmars tid för position 3 vilket innebär att medelvärdet för den positionen blir överskattat. Det verkar som att förstärkaren i *taggen* har lagt av cirka kl 16 den 19 december det syns på den tunna kurvan i diagrammet som motsvaras av TxRSSI.

Figur 4.6 visar signalstyrkan för tag **12AC** under de första två dyggen i mätperioden. Den registrerade signalstyrkan är något högre när en betongvägg är mellan

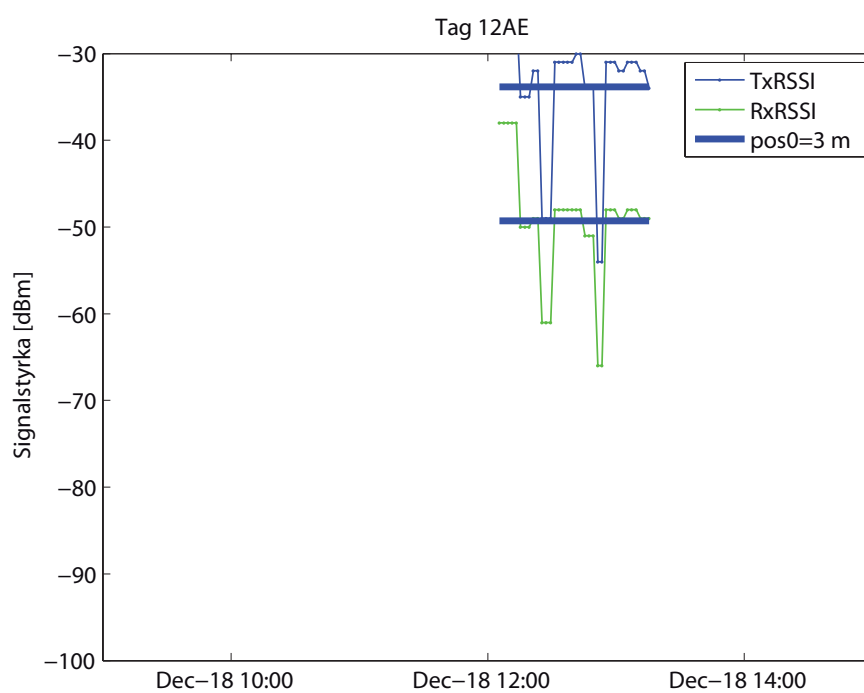


Figur 4.6 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, ytligt monterad tag med förstärkare cirka 40 mm från yta betong.

masterenhet och pelare och avståndet 40 m, än när pelaren ligger kvar i gjutformen 75 m bort med “fri sikt”. Skillnaden i signalstyrka mellan position 3 och position 4 blir därför cirka 5 dBm.

Figur 4.7 visar signalstyrkan för tag **12AE** under första timmen det första dygnet i mätperioden. Notera den korta tidsperioden som sändningen vidmakthölls. Kontakten bröts i och med att betongen göts. Fram till dess var den registrerade signalstyrkan -50 dBm vilket är bra. Det kan vara så att vatten läckte in i taggen och förstörde elektroniken permanent eller att signalen dämpades kraftigt av betongen. Det gick inte att bestämma det “sanna skälet” till att signalen tappades mot bakgrund av resultatet från mätningen.

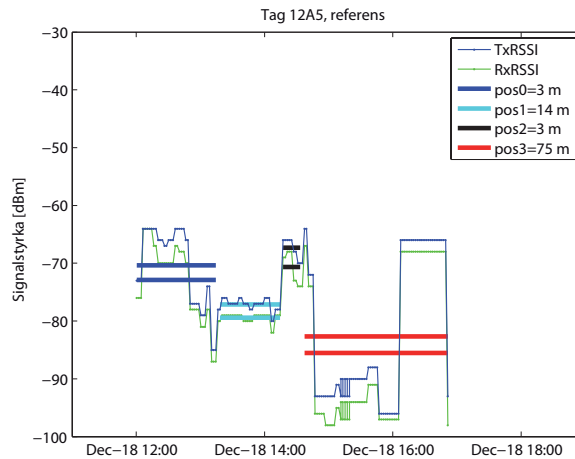
4. RESULTAT OCH DISKUSSION



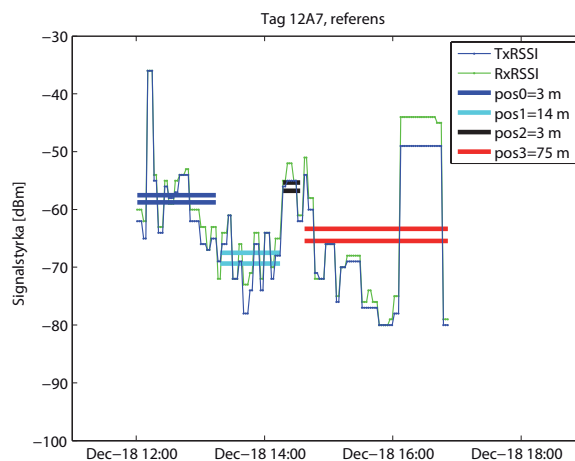
Figur 4.7 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, djupt monterad tag med förstärkare cirka 265 mm från yta betong.

4.4 Referenstaggar

Signalstyrkan för *referenstaggar* 12A5 och 12A7 visas i Figur 4.8 respektive Figur 4.9. Skillnaden i signalstyrka mellan *referenstaggar* är stor och kan förklaras med



Figur 4.8 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, referenstag utan förstärkare monterad på formen cirka 150 mm utanför pelaryta.

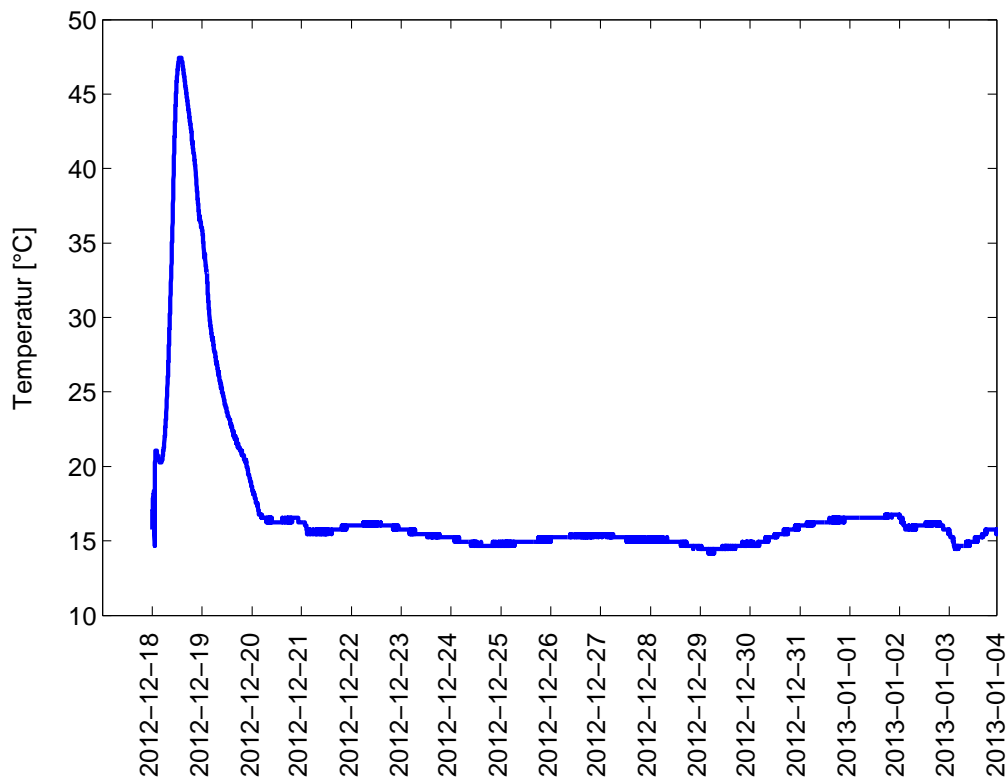


Figur 4.9 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, referenstag utan förstärkare monterad på formen cirka 150 mm utanför pelaryta.

att antennen är olika. Referenstag 12A7 visar en högre signalstyrka på mellan 12-20 dBm. Det beror med stor sannolikhet på att den har en gummi antenn.

4.5 Temperatur

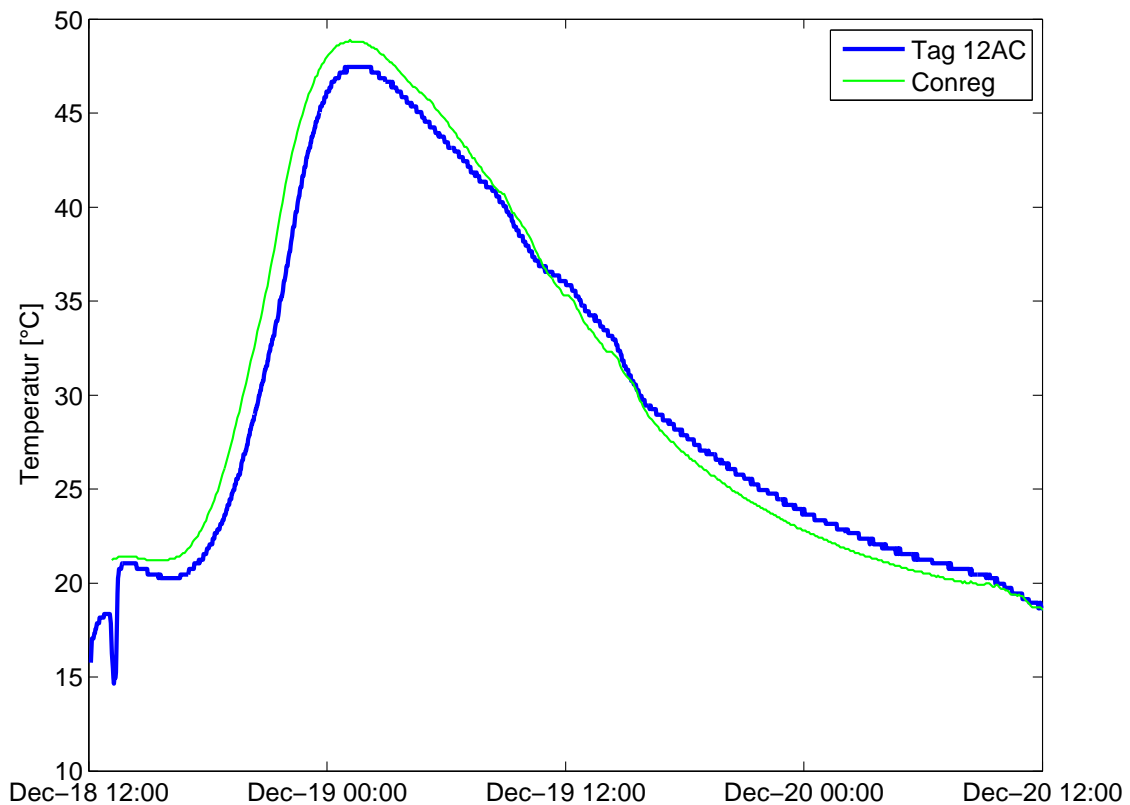
Temperaturen loggades i samtliga *taggar* och ett exempel på temperaturutveckling visas i Figur 4.10. Temperaturen redovisas för en *tag* som sitter 40 mm under betong-



Figur 4.10 Temperatur, yligt monterad tag utan förstärkare cirka 40 mm från yta betong monterad mellan två armeringsjärn.

ytan. Diagrammet visar temperaturutvecklingen från någon minut före gjutning till sjutton dagar efter gjutning. Temperaturen sjunker en kort tid efter gjutning för att sedan stiga kraftigt några timmar efter gjuttillfället upp till 47 °C för att sedan sjunka till omgivningens temperatur två dagar efter gjutning. Det liknar den förväntade temperaturutvecklingen. Det ska noteras att sensorn sitter i luften inne i en förseglad plastlåda. Det innebär att temperatursensorn inte är i direktkontakt med betongen. Därför blir resultatet av mätningen ett medelvärde av temperaturen för temperaturfältet där *taggen* sitter monterad.

Jämförande mätningar av temperaturen har utförts med ConReg. Det framgår av tydligt av Figur 4.11 att temperaturkurvan som registrerats av tag **12AC** har ett liknande utseende som temperaturkurvan som uppmätts av ConRegsystemet. Skill-



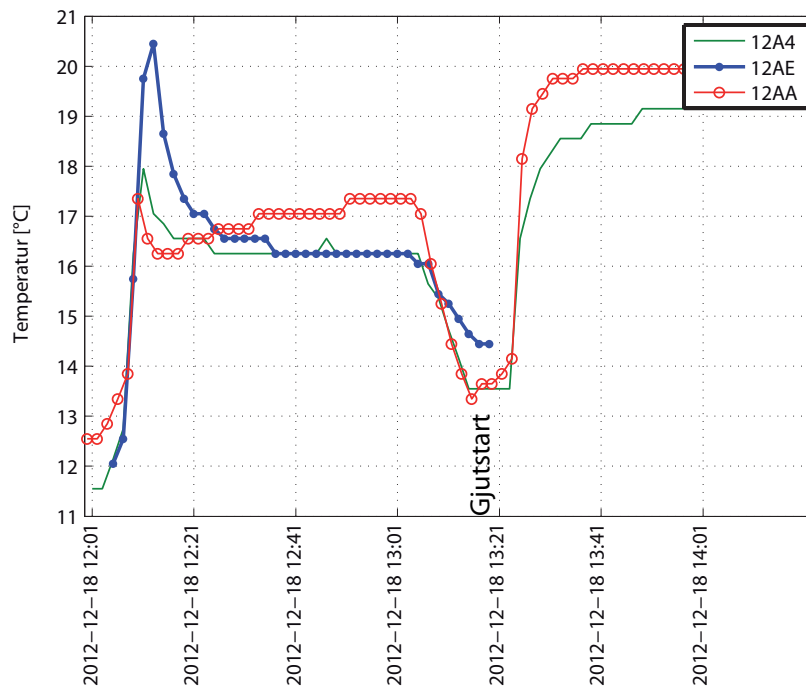
Figur 4.11 Temperaturjämförelse tag12AC jämfört med ConReg.

naden i temperatur är som mest cirka 5 grader, där ConRegsystemet mäter en högre temperatur i det tidiga skedet. Temperaturskillnaden förklaras av att temperatursensorn för ConRegsystemet låg djupare ner i betongmassan än tag **12AC**. Det kan också vara så att kurvorna är lite förskjutna i sidled, på grund av en liten skillnad i klocktid mellan ConRegsystemet och det trådlösa mätsystemet. Dessutom finns det en viss mätosäkerhet som innebär att sensorerna visar en annan temperatur än den “sanna” temperaturen.

Det innebär att en beräkning av hållfasthetsutvecklingen också skulle ligga nära den som ConReg räknar fram, givet att samma tendenskurva används.

Registrerad temperatur för taggar **12A4**, **12AE** samt **12AA** visas i Figur 4.12. Figur

4. RESULTAT OCH DISKUSSION



Figur 4.12 Temperaturjämförelse tag 12AE jämfört med 12AA och 12 A4.

4.12 visas för att åskådlig göra att tag **12AE** har slutat fungera precis vid gjutningen. Tidpunkten då temperaturer har slutat registreras i tag **12AE** sammanfaller väl med gjutstart. Tag 12A4 är placerad djupare ner i formen än tag **12AE** som i sin tur är placerad djupare ner än tag **12AA**.

Kapitel 5

Slutsats

Vi har utvecklat och testat flera prototyper till RFID-taggar för ett trådlöst mätsystem, som mäter temperatur i en betongkonstruktion med ingjutna sensorer. Dessa prototyper har testats i en pilotstudie i Långviksmon på Strängbetongs fabrik. Pilotstudien genomfördes under en tvåveckorsperiod under juluppehållet 2012-2013. I studien registrerades temperaturen i en pelare på sex ställen med sex individuella RFID-taggar placerade på olika mätdjup längs pelarens centrumlinje. Parallellt med mätsystemet registrerades också temperaturförloppet med ConReg. Mätresultatet från det trådlösa systemet visade god överensstämmelse med Conreg.

Resultatet från undersökningen av det utvecklade systemet har visat att det går bra att gjuta in sändaren. Resultatet visar att *taggarna* upprätthåller kommunikationen med masterenheten genom 120 mm betong samt 25 m luft "fri sikt", och genom 40 mm betong och samtidigt 75 m sändsträcka i luft "inte fri sikt". Det innebär att det inte är nödvändigt att montera en antenn på betongytan, vilket betyder att målet för projektet överträffades. De bästa resultaten erhöles med gummiantenn monterad på *RFID-taggen*.

Resultatet från pilotstudien visar att det trådlösa mätsystemet har goda förutsättningar att utvecklas till en färdig produkt och kommersialiseras. Förutsatt att det finns en funktionsduglig ingjutningsbar fuktsensor är möjligheterna goda att lägga till en sådan funktion till det utvecklade mätsystemet.

Litteraturförteckning

- [1] A. Sjöberg and M. Gerstig. Trådlös mätning av temperatur i nygjuten betong, litteratur- och experimentell fältstudie. Rapport TVBM-3149, Avd. Byggnads-material, 2009. [2](#)

Bilaga

I den här bilagan bifogas rapporten från Electrotech som beskriver försöksuppställning, resultat och slutsatser för förstudien. Rapporten heter Förstudie - Försök med radiosändning genom betong.

Förstudie

Försök med radiosändning genom betong

Preliminär rapport rev. 0

Urban Classon ElectroTech AB

1 INNEHÅLL

1	INNEHÅLL	2
2	GENERELLT	3
2.1	Dokumenthistoria.....	3
2.2	Distribution	3
2.3	Definitioner	3
2.4	Referenser.....	3
2.5	Mål för utredningen.....	3
3	GENOMFÖRDA PROV	4
3.1	Tagg 0x1249	5
3.2	Tagg 0x124A	6
3.3	Tagg 0x124B.....	7
3.4	Tagg 0x124C.....	8
3.5	Tagg 0x124D.....	9
3.6	Tagg 0x124E	10
3.7	Tagg 0x124F	11
3.8	Tagg 0x1250	12
3.9	Tagg 0x1253	13
3.10	Uppmätt temperatur	14
4	RESULTAT	15
5	SLUTSATS	16

2 GENERELLT

2.1 Dokumenthistoria

Datum	Revision	Beskrivning
2012-08-24	0	Dokumentet skapades, preliminär utgåva

2.2 Distribution

Kopia till: Byggtek, Magnus Åhs

2.3 Definitioner

RFID Radio Frequency IDentification, i princip elektroniska streckkodsetiketter.
Tagg RFID transponder.
Aktiv tagg Tagg med inbyggt batteri, ger i regel längre räckvidd.
RFID-Läsare Utrustning med elektronik och antenn för att för att läsa taggar.

2.4 Referenser

Inga externa referenser i detta dokument.

2.5 Mål för utredningen

1. Säkerställa överföringen av signaler från en trådlös sensor ingjuten i betong med en ytligt placerad antenn.
2. Testa ett system användbart för byggarbetsplatser i fält.

3 GENOMFÖRDA PROV

Provet har genomförts genom att montera sammanlagt 8st RFID taggar med olika antenner och placering i en prefabricerad gjutform med armering. Utöver detta har vi även haft en tagg monterat cirka 30cm ovanför gjutformen i syfte att agera som referens. Den radioenhet som pollat taggarna samt hämtat data från dem och skickat vidare via GPRS har suttit monterad 25m från gjutformen cirka 2m ovanför marken. Varje tagg har ett unikt ID som består av ett hexadecimalt 16-bitars värde. De 8st ingjutna taggarna har ID 0x1249-0x1250 medan referenstaggen har ID 0x1253. På bild1 nedan visas den gjutna formen samt en röd pil som pekar på läsaren som sitter monterad på träplanket. Bild2 nedan visas formen innan gjutning.



Bild1.

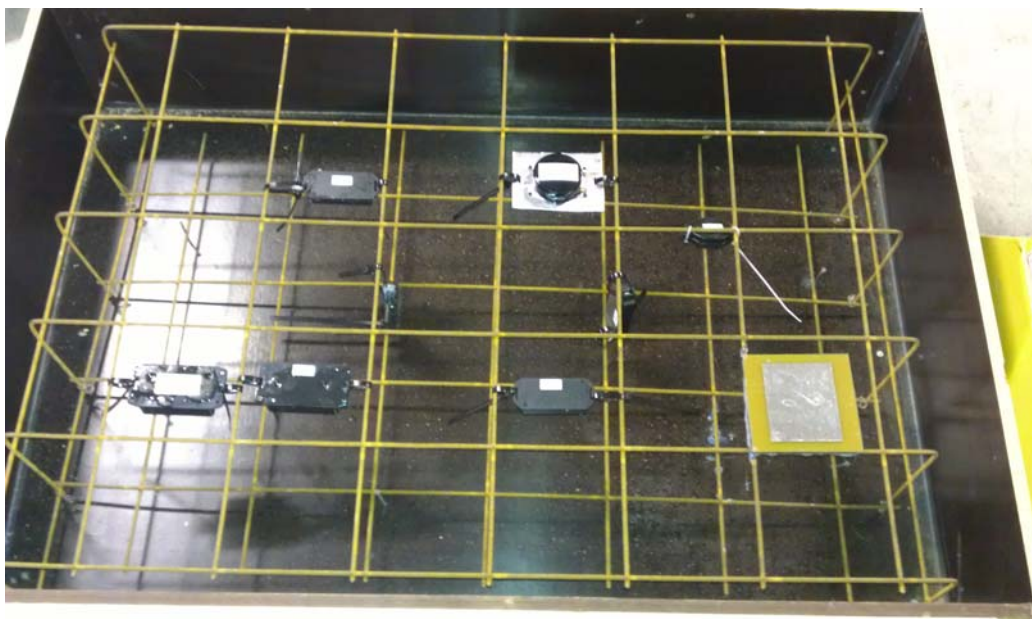


Bild2.

3.1 Tagg 0x1249

Denna antennlösning är speciellt framtagen av LTU för att sända från markplanet, t.ex sittandes i ytan på en asfaltväg. Bild3 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild4 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -49dBm för att efter ingjutning landa på cirka -79dBm, en försämring på cirka 30dBm.



Bild3

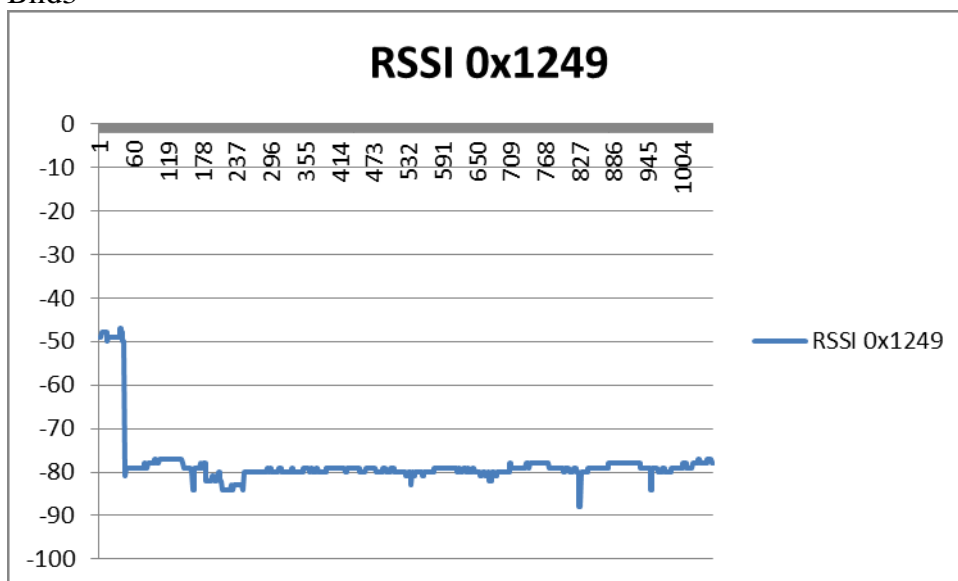


Bild4

3.2 Tagg 0x124A

Denna antennlösning är en standardiserad antenn från Proant. Monteringsmässigt så är den väldigt bra då tar liten plats och ryms inne i kapslingen. Bild5 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild6 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -75dBm för att efter ingjutning inte förändras nämnvärt. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan tvärt från cirka -70dBm till -80dBm.



Bild5

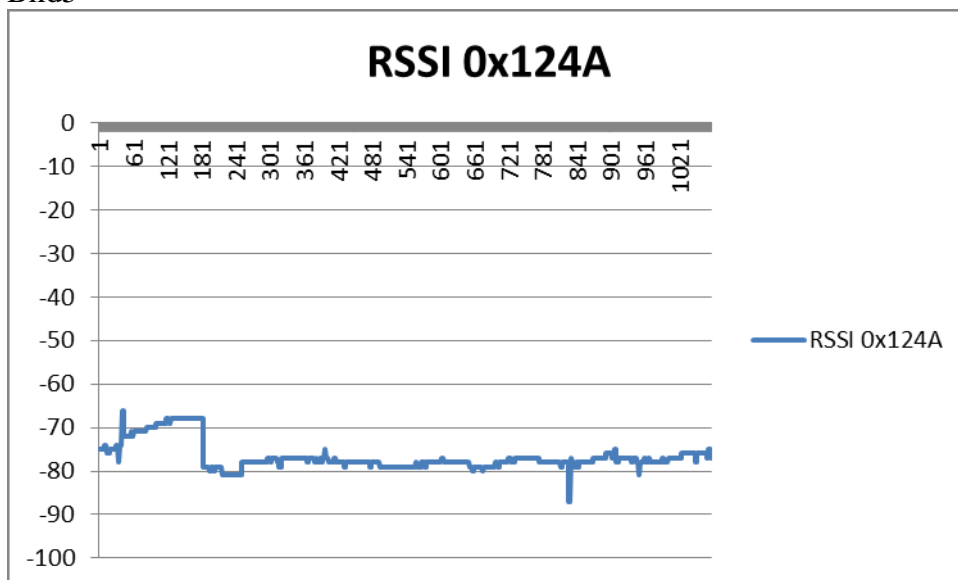


Bild6

3.3 Tagg 0x124B

Denna tagg är identisk med föregående 0x124A skillnaden ligger i monteringen då den sitter mitt i betongen. Bild7 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild8 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -60dBm för att efter ingjutning falla till cirka -80dBm, en försämring på 20dBm. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan tvärt från cirka -80dBm till -95dBm.



Bild7

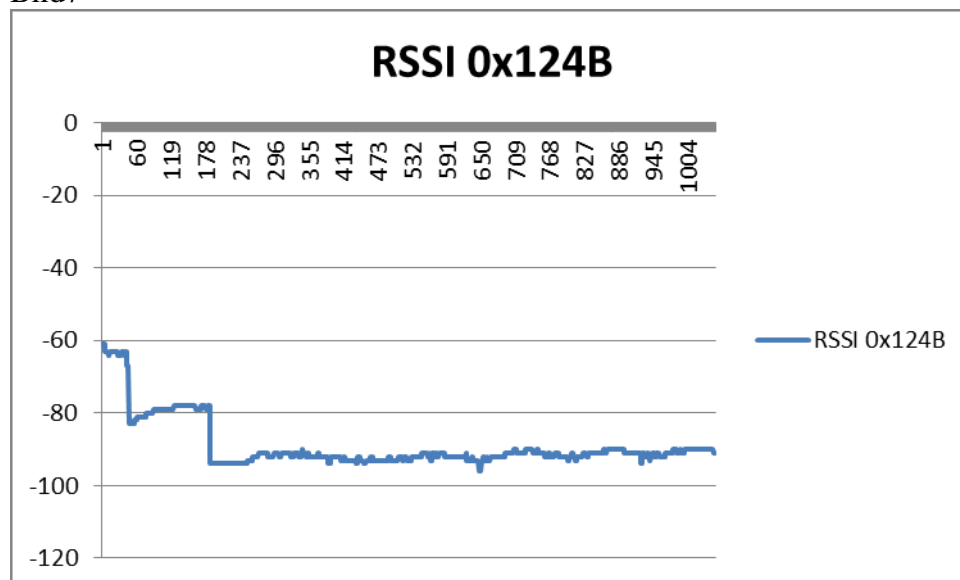


Bild8

3.4 Tagg 0x124C

Denna tagg använder sig av en vanlig ”gummipinne” som troligen är den vanligaste typen av antenn för dessa frekvenser. På denna tagg är antennen monterat externt så den har direkt kontakt med omgivande betong. Bild9 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild10 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -35dBm för att efter ingjutning falla till cirka -80dBm, en försämring på 45dBm. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan tvärt från cirka -77dBm till -86dBm.



Bild9

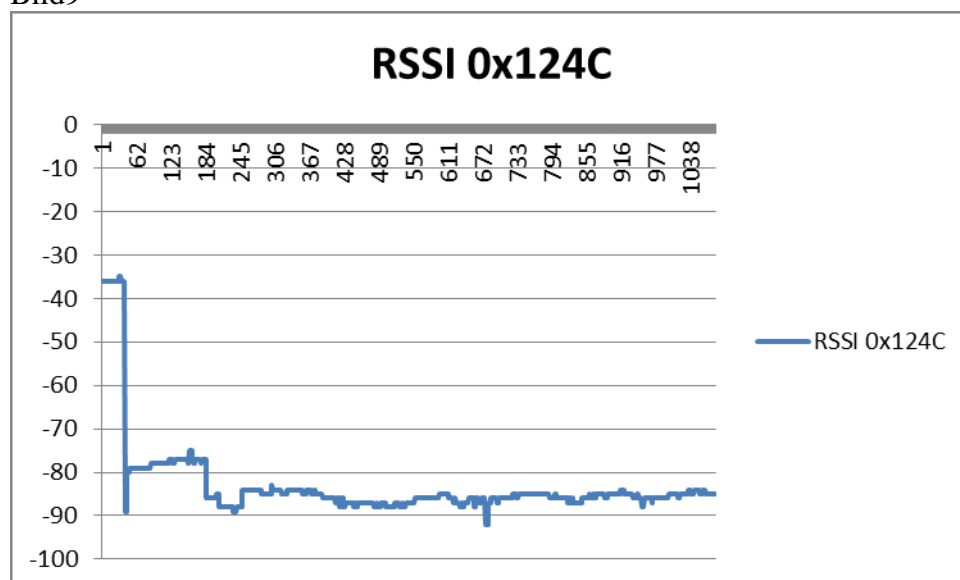


Bild10

3.5 Tagg 0x124D

Denna tagg använder sig av en likadan antenn som 0x124C men på denna tagg är antennen monterat internt så den inte har direkt kontakt med omgivande betong. Bild11 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild12 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -70dBm för att efter ingjutning falla till cirka -85dBm, en försämring på 15dBm.

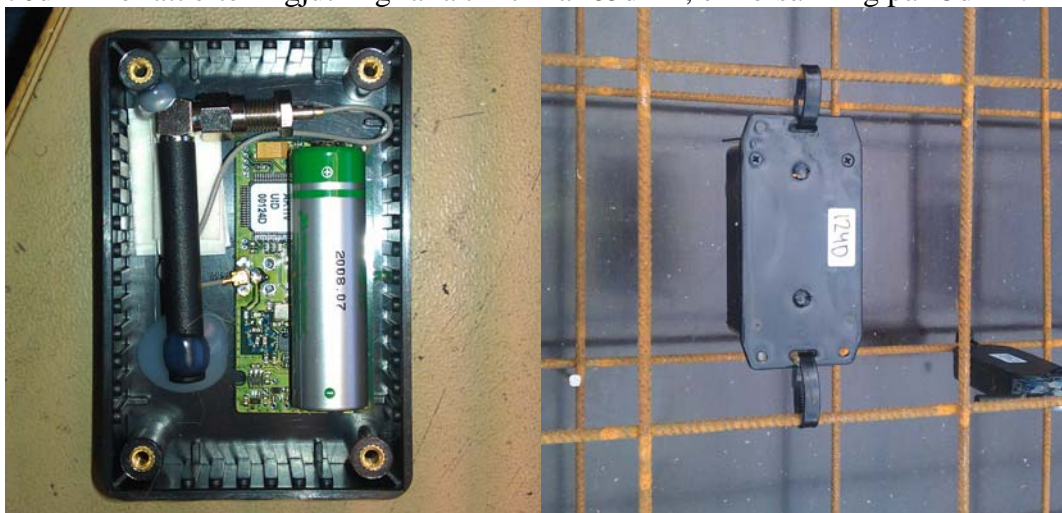


Bild11

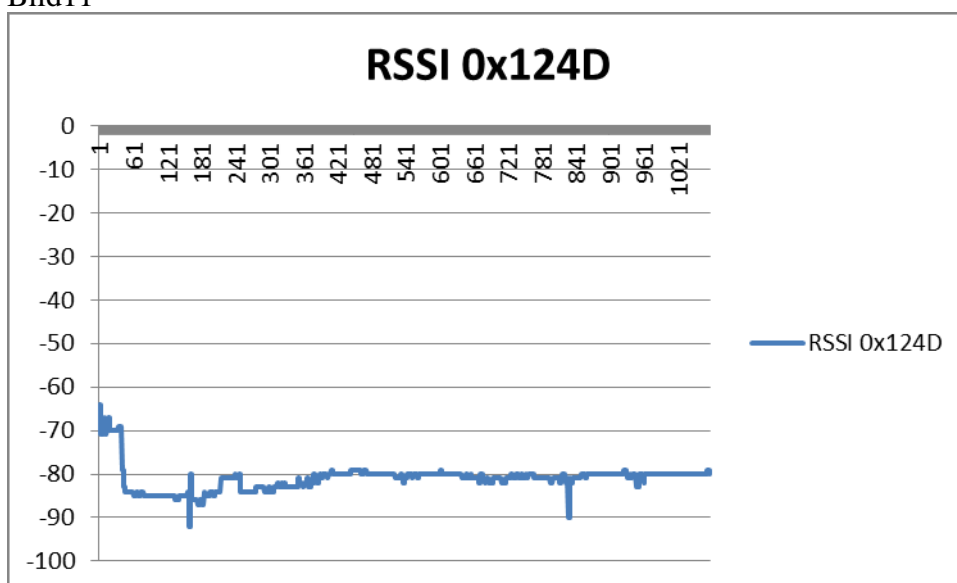


Bild12

3.6 Tagg 0x124E

Denna tagg är identisk med föregående 0x124C skillnaden ligger i monteringen då den sitter mitt i betongen. Bild13 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild14 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -35dBm för att efter ingjutning falla till cirka -90dBm, en försämring på 55dBm. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan tvärt från cirka -85dBm till -98dBm.



Bild13

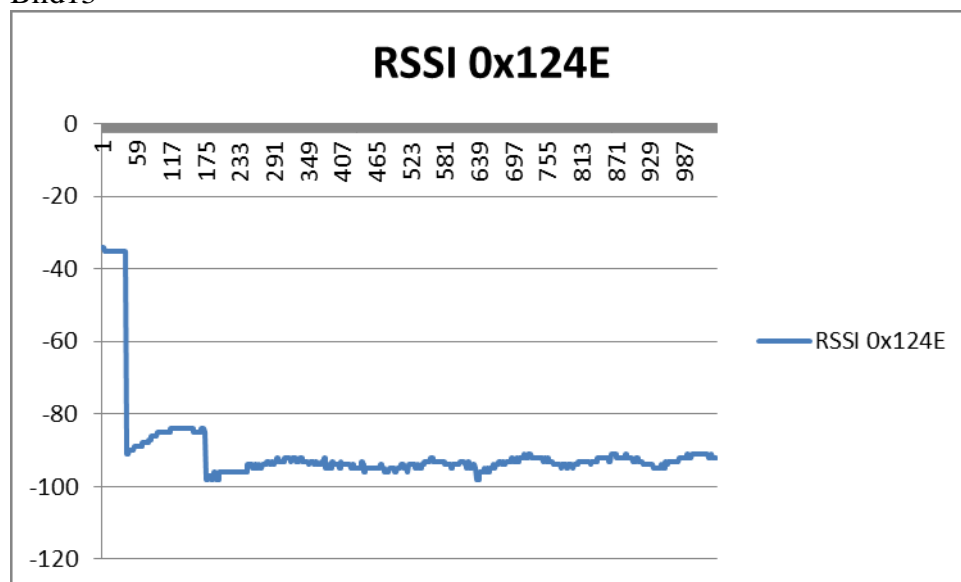


Bild14

3.7 Tagg 0x124F

Denna tagg använder sig av en likadan antenn som 0x124D men på denna tagg är interna antennen försedd med ett jordplan som denna typ av antenn kräver för god funktion. Bild15 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild16 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -62dBm för att efter ingjutning falla till cirka -77dBm, en försämring på 15dBm. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan stegvis från cirka -72dBm till -98dBm.

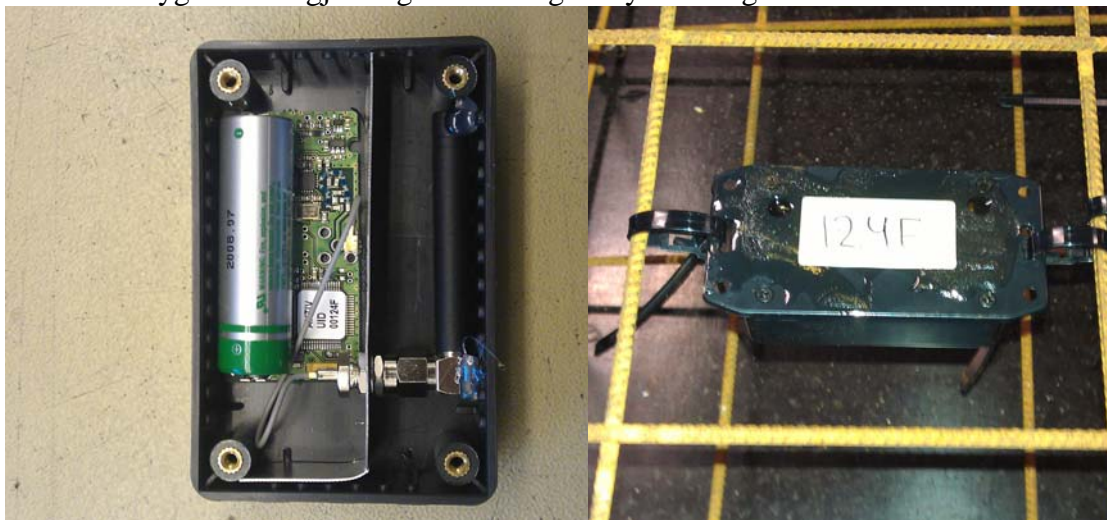


Bild15

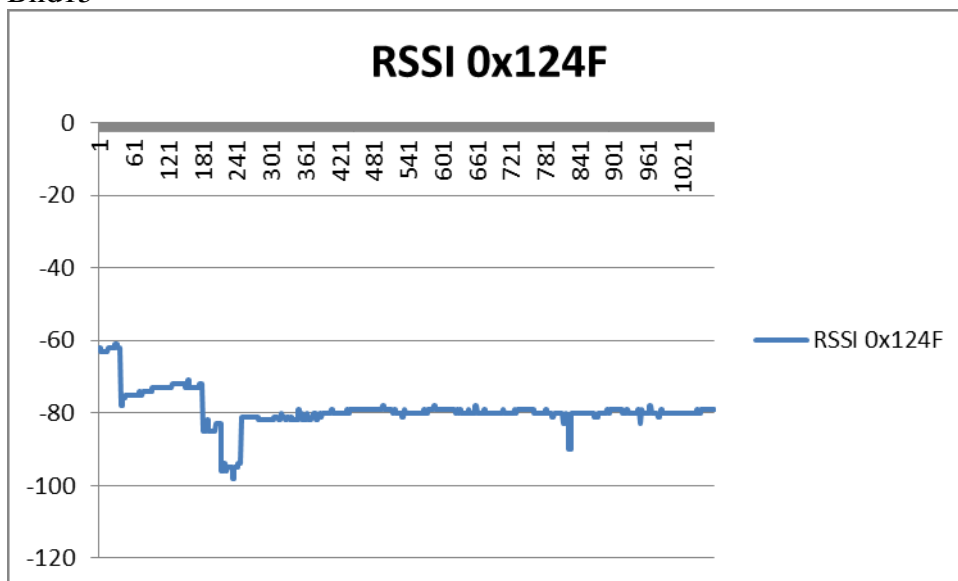


Bild16

3.8 Tagg 0x1250

Denna tagg använder sig av en antenn tänkt för montage på biltak. Bild17 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild18 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -55dBm för att efter ingjutning falla till cirka -70dBm, en försämring på 15dBm. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan tvärt från cirka -70dBm till -80dBm.



Bild17

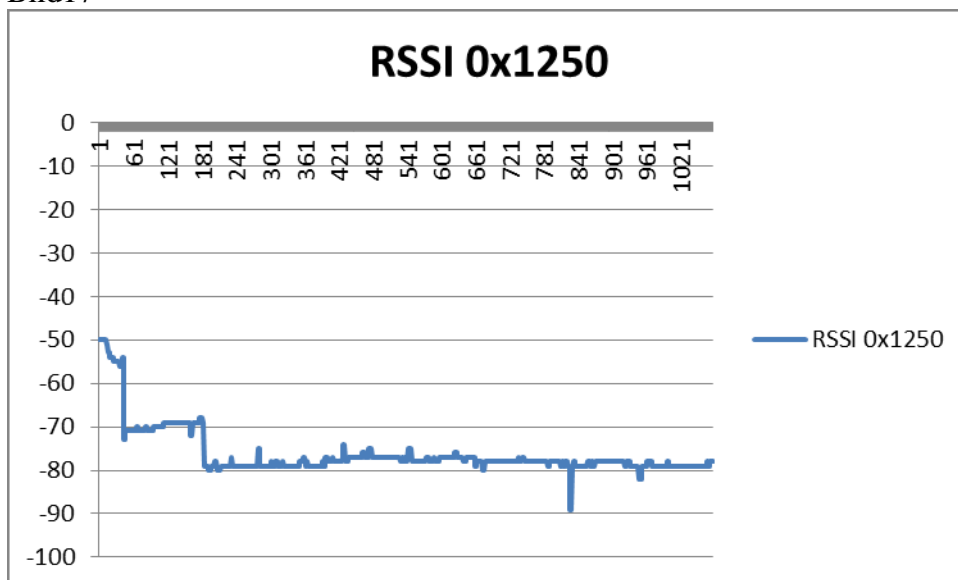


Bild18

3.9 Tagg 0x1253

Denna tagg är identisk med föregående 0x124A samt 0x124B och skillnaden är att den är monterat utanför betongen på en pinne som sticker upp cirka 30cm från formen. Syftet är att få en referens för radio utan påverkan av betong för att kunna se om det finns några yttre faktorer som påverkar signalstyrkan. Bild19 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild20 visar signalstyrkan. Signalstyrkan ligger relativt stabilt på cirka -64dBm både innan och efter gjutningen. Dock faller signalstyrkan tvärt från -64dBm till -77dBm cirka ett dygn efter gjutningen och när därefter aldrig över -70dBm.



Bild19

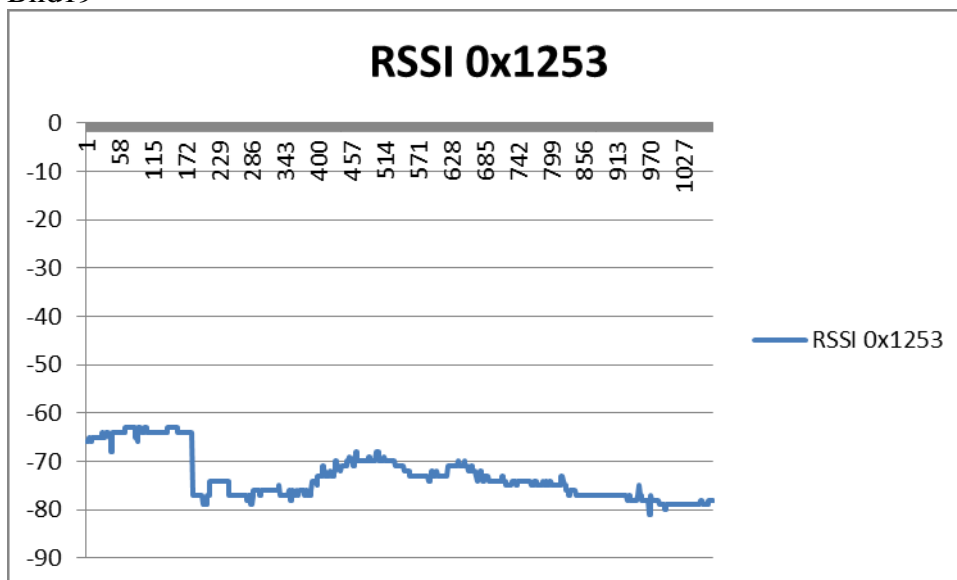


Bild20

3.10 Uppmätt temperatur

Nedan i bild21 visas uppmätt temperatur från sex av de mätande taggarna. Betongen är tillsatt vid sample 450. Den första låga temperaturen under 280K är utomhustemperaturen under natten och den första stigande flanken till cirka 295K är när solen började lysa på formen med taggarna utan betong. Den andra stigande flanken vid sample 450 där temperaturen först går över 300K är när betongen är tillsatt. Tidpunkt för detta är 2012-06-28 15:30. Tiden mellan varje sample är 5 minuter. Mätningen är avslutad 2012-08-14 13:40.

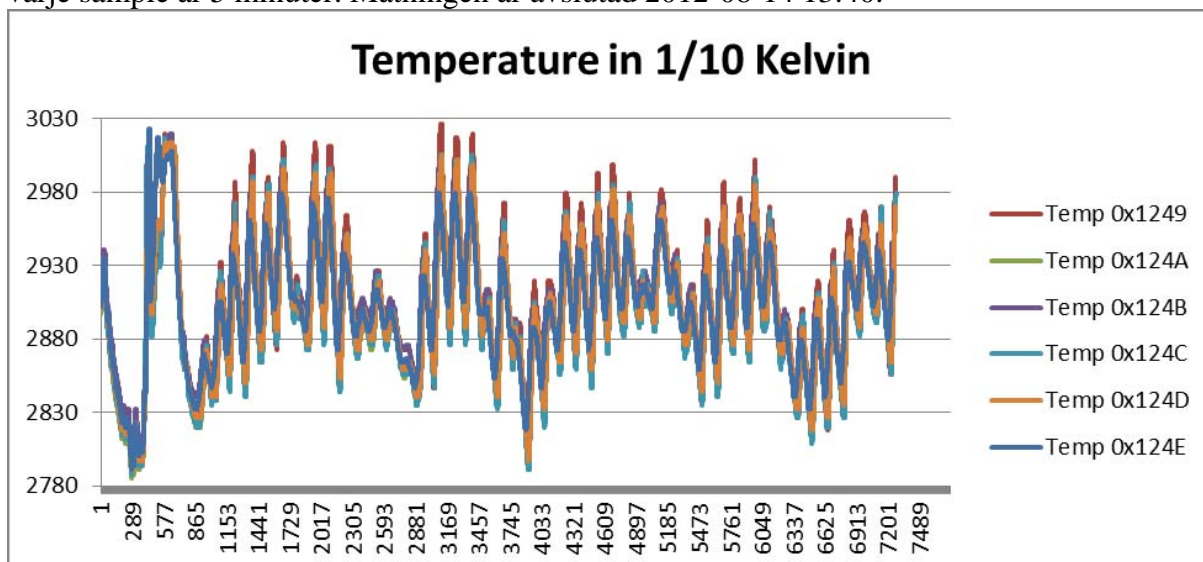


Bild21.

Temperatursensorerna som är använda har en absolut precision på cirka ± 2 grader, detta är dock något som vid behov kraftig går att förbättra i framtida hårdvara. Detta relativt stora mätfel döljer troligen att de taggar som sitter nära ytan i större grad påverkas av omgivande temperatur medan de längre in i betongen påverkas mindre.

4 RESULTAT

Sammantaget så har testat gått bra då vi på 25m avstånd med 10mW effekt under två månader loggat temperaturen i betonggjutningen utan att tappa något data från någon av de mätande taggarna. På samtliga mätande taggar har elektroniken och visa fall antennen varit ingjuten i en gjutmassa för elektronik.

De antennlösningar som varit korrekt avstämd innan ingjutning har tappat mellan 30-45dBm i signalstyrka och det är i vissa fall en väldigt liten marginal på radions signalstyrka. De som redan vid ingjutning med gjutmassa fått sin antenn påverkad uppvisar inte lika stor försämring då betongen tillförs då antennerna på dessa enheter redan är påverkade och felaktigt avstämda. Gränsen för funktion går vi cirka -100dBm och man ser att vissa taggar tidvis har buffrat upp mätdata då dom haft problem att kommunicera med basenheten, dock utan att tappa något mätdata. Detta syns tydligt på till exempel 0x124B som inte får över data på cirka 12 timmar efter att den tappat i signalstyrka cirka ett dygn efter betonggjutning.

Betongen tillfördes till formen 2012-06-28 15:30 och här ser man som förväntat ett tapp i signalstyrka på i princip samtliga taggar förutom referenstaggen som inte påverkas. Dock finns det på samtliga taggar inklusive referenstaggen ett fall i signalstyrka 2012-06-29 14:12 som vi i dagsläget inte kan förklara på annat sätt än att något i omgivningen har förändrats alternativt att något har hänt med basenheten vid denna tidpunkt.

En viktig iakttagelse är signalstyrkan inte verkar påverkas nämnvärt under tiden betongens torkprocess.

5 SLUTSATS

Slutsatsen från detta test är att det i högsta grad verkar vara fullt möjligt att logga temperaturen med denna utrustning. Redan räckvidden 25m kan i många fall troligen vara tillräckligt.

Vi ser dock en stor potential till förbättring genom att finslipa på antennlösningen. Planen för nästa test är att dels gjuta in en antenn i gjutmassa och få den rätt avstämd i sin kapsling innan ingjutning. Vi förväntar oss då en relativt liten påverkan av omgivande betong.

Det andra spåret är att avstämna en antenn av typ gummipinne för att sitta i direkt kontakt med betongen och då alltså väldigt fel avstämd för luft. Troligen kan dock räckvidden i luft med felaktig antenn bli ungefär denna samma som räckvidden i betong med en korrekt antenn.

Vi hoppas med en förbättrad antenn i alla fall kunna nå räckvidder på över 100m med samma utrustning som i detta test.

Utöver detta kommer vi förutom samma utrustning som i detta test i nästa test även att nyttja en tagg med en förstärkare som ökar uteffekten från 10dBm (10mW) till 27dBm (500mW). Denna förstärkare innehåller även en förförstärkare för mottagningen som ska förbättra känsligheten med 6dBm. Man bör alltså kunna få en total förbättring på länkbudget med 23dBm. Det skulle i teorin innebära en räckvidd som är runt 16 gånger längre, dvs samma funktion på 400m som vi i detta test sett på 25m.

I kombination med förbättrad antenn kan det visa sin onödigt med en förstärkare av denna typ alternativt att man väljer att endast använda den i basenheten då det medför ökade kostnader både för själva radion men även för batterilösningen i taggarna.

Trådlös kommunikation med radiosändare ingjutna i betong

Magnus Åhs



LUND UNIVERSITY

ISRN LUTVDG/TVBM--13/3170--SE(1-31)

ISSN 0348-7911 TVBM

Lunds Universitet
Avd. Byggnadsmaterial
Box 118
221 00 Lund

Telefon:+46 46 222 74 15
Telefax:+46 46 222 44 27
www.byggnadsmaterial.lth.se

Förord

Det här projektet har utförts på avdelningen Byggnadsmaterial vid Lunds tekniska högskola i nära samarbete med Electrotech. Arbetet har utförts inom SBUF projektet “Mätstudier med trådlösa sensorer ingjutna i betong - delstudie, utformning av ytmonterad antenn samt fältförsök”, projektnummer 12615. Projektledare för den här studien är Magnus Åhs, på avdelning Byggnadsmaterial.

Projektet genomfördes i två huvuddelar, dels som ett laborationsförsök och dels som ett pilotprojekt. Laborationsförsöket genomfördes av Electrotech och resultatet redovisas i Bilaga 1.

Följande personer har förtjänstfullt ingått i referensgruppen för den här studien.

Henrik Hyll, NCC
Juha Rajala, Electrotech
Ronny Andersson, Cementa
Robert Larsson, Cementa
Lars Gutwasser, PEAB
Peter Weywadt, Sydsten
Patrik Bengtsson, Skanska
Örjan Petersson, Strängbetong
Britt Borgström, Sveriges Byggindustrier FoU Syd
Corfitz Nelson, Sveriges Byggindustrier FoU Syd

Projektet har samordnats av Magnus Åhs, Corfitz Nelson och Britt Borgström, FoU Syd och samfinansierats av Cementa, Electrotech, Strängbetong och SBUF genom Henrik Hyll, NCC Construction Sweden.

Lund, januari 2013
Magnus Åhs

Nyckelord

Trådlös kommunikation, armerad betong, radioöverföring, temperatur, signalstyrka, RFID-Tag

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Trådlös kommunikation	3
1.2	Signaldämpning	3
2	Sändare ingjutna i betongkonstruktion av begränsad storlek	5
3	Pilotstudie	7
3.1	Byggnadsdel - pelare	8
3.2	Betongkvalitet	9
3.3	RFID-taggar	9
3.4	Masterenhet	12
4	Resultat och diskussion	13
4.1	Signalstyrka	13
4.2	Taggar utan förstärkare	17
4.3	Taggar med förstärkare	20
4.4	Referenstaggar	23
4.5	Temperatur	24
5	Slutsats	27
	Litteraturförteckning	29
	Bilaga	31

Kapitel 1

Introduktion

Det har under lång tid funnits ett intresse av att mäta olika storheter, såsom temperatur och fuktighet, i färsk och hårdnad betong. Dessa båda storheter är intressanta dels för att bedöma hållfastheten i betongkonstruktionen och dels för att bedöma när det går att lägga fuktkänsliga material på en betongyta. En detaljerad uppföljning av temperatur/fuktighet innebär mycket manuellt arbete. För att undvika detta manuella arbete har automatiska dataloggningssystem utvecklats.

Trådbunden mätning och loggning av temperatur i betong har varit möjlig under många år i labbmiljö. Sedan tjugo trettio år finns det kommersiella system tillgängliga som loggar data genom att ansluta en temperatursensor till en datalogger. Dataöverföringen i dessa system sker med en tråd som dras från en sensor till en relativt stor datalogger som behöver strömförsörjning.

Mätning av relativ fuktighet genomförs genom att borra ett hål i den hårdnande betongen och placera en sensor som sedan avläses manuellt med ett instrument eller en datasamlare. Metoden kräver en hel del manuellt arbete i samband med att utrustning ska installeras och monteras bort.

Ett trådlöst system utvecklades för cirka 10 år sedan för att logga relativ fuktighet, RF, i betong. Det systemet var i huvudsak trådlöst, men i anslutning till mätpunkten fanns en relativt stor radiosändare kopplad till mätsensorerna inuti betongkonstruktionen. Radiosändaren satt utanför betongkonstruktionen och sänd till en datalogger som var kopplad till en GSM-modul. Det systemet gick också att läsa av med ett datorprogram via GSM-nätet. Radiosändaren som användes i systemet var dels för stor för att gjutas in och dels befärades radiosignalerna dämpas för mycket av betongen.

Betong är ett väldigt tätt material med en hög densitet vilka båda egenskaper effektivt skärmar av radiosignaler. Det krävs antingen en hög signalstyrka, sändningseffekt i watt (W) eller (dBm), hos sändare för att nå ut från betong eller en hög känslighet hos mottagare för att en låg signalstyrka ska kunna uppfattas.

Radiosändarens signalstyrka drar mycket ström och kräver stor batterikapacitet medans känsligheten hos mottagaren inte gör det. Utvecklingen går hela tiden framåt och känsligheten hos mottagarna ökar. Nu finns det små mottagare som uppfattar signaler med en signalstyrka av -100 dBm, vilket innebär att de är känsliga.

Mycket skulle vara vunnet om det skulle gå att mäta både temperatur och relativ fuktighet med trådlösa sensorer som gjuts in i konstruktionen. Dels skulle givarna vara skyddade från yttre påverkan från det att betongen placerats i formen. Dels skulle det innebära att göra att installationen blev enklare i fallet då RF ska mätas. Istället för att borra ett hål i hård betong och därefter placera sensorn i ett plaströr och kontrollera att montaget är tätt, gjuts sensorn in.

Andra exempel på nyttan med ingjutna sensorer är att det skulle det vara möjligt att följa upp temperaturutveckling, hållfasthetsutveckling och uttorkningen även efter att byggnaden är tagen i bruk.

Byggindustrin arbetar aktivt med att föra in industrialiserat tänkande i byggprocessen. En del i detta är planering och kontroll av material och produktion. Trådlösa sensorer kopplade till ett trådlöst nätverk används för detta i stor omfattning och med god erfarenhet inom många andra sektorer och företag.

Detta projekt baserar sig på möjligheterna för kontinuerlig och trådlös övervakning av betongbetongkonstruktion under härdnings-, uttorknings- och driftskedet. Denna möjlighet är direkt av betydelse för många anläggningsprojekt med tyngre betongkonstruktioner och för kvalitetssäkring av prefabricerade produkter avseende härdning och uttorkning. I förlängningen är det av betydelse även för övriga konstruktioner.

Målen med denna delstudie är att säkerställa överföringen av signaler från en trådlös sensor ingjuten i betong som har en ytmonterad antenn. Den här delstudien fokuserar specifikt på att utveckla en ytmonterad antenn som kopplas till en ingjuten givare i en betongkonstruktion. När den antennen är utvecklad ska ett system användbart för byggarbetsplatser i fält utprovas i en pilotstudie.

1.1 Trådlös kommunikation

Ett trådlöst mätsystem bygger i huvudsak på att den trådlösa kommunikationen mellan sändare och mottagare fungerar. Dessa sändare och mottagare finns både i den ingjutna *taggen* och i masterenheten och funktionen hos systemet begränsas av att signalerna når fram till mottagaren i endera riktning. Masterenheten kan sedan kopplas till ett GPRS-modem som står i kontakt med en server kopplad till internet. Detta gör att mätningen kan övervakas på distans från en dator kopplad till internet.

Det är viktigt att masterenheten kan uppfatta signaler från den ingjutna *taggen* och ladda ner mätresultat, men det är också viktigt att kommunikationen fungerar åt andra hållet. Via ett datorprogram kan masterenheten styras och vidarebefordra signaler till *taggarna* om ändring av mätintervall och överföringsintervall. Det är praktiskt att kunna ändra dessa intervall under en mätning för att till exempel öka livslängden hos *taggen*. Både *tag* och masterenhet mäter signalstyrkan som den uppfattar från inkommande signaler.

1.2 Signaldämpning

Signaler från radiosändare dämpas av många olika skäl och inverkan av olika faktorer är komplexa. Här följer en kortfattad och förenklad beskrivning som översiktligt förklarar olika faktorer påverkan på signaldämpningen.

Signalen som sänds ut från en radiosändare har en viss effekt, signalstyrka, och anges i enheten watt, W, eller dBm. Den signalen färdas genom olika medium på sin väg till mottagaren, dessutom kan den också nå mottagaren via en eller flera reflektioner mot materialytor. Varje passage genom ett medium, även luft, innebär förluster och de är olika stora beroende på mediets egenskaper. Likaså innebär reflektioner förluster i signalstyrka, en mjuk yta innebär större förluster och en hård yta innebär mindre förluster. Genom dessa förluster på vägen når signalen inte fram i ursprunglig signalstyrka, signalen dämpas. Signalstyrkor anges typiskt i effekt i watt W, men också i dBm, och omräkning mellan dessa enheter kan göras med Ekvation 1.1,

$$L_{dB} = 10 \log_{10} \cdot P \quad (1.1)$$

där L_{dB} är värdet i dBm och P är effekten i milliwattm, mW.

Först och främst påverkar avståndet från signalkällan. Dessutom dämpas signalen av vilket medium som den fortplantas igenom, till exempel luft, vatten, betong och stål. Till detta kommer en dämpning om signalen inte går direkt till mottagare, utan

när den först efter att ha reflekterats från en yta. Ytterligare faktorer som påverkar är nivå över mark och markförhållanden, där det är fördelaktigt att ha en höjdskillnad mellan sändare och mottagare och en hårdgjord yta innebär en minskad dämpning. Till detta kan mottagningen påverkas av hur antennen är riktad i förhållande till signalen.

I vårt fall påverkas dämpningen av några specifika faktorer speciellt betong, armering, formmaterial och avstånd. Betongen som läggs i formen dämpar signalerna från *taggarna*. Signalen dämpas mer om *taggen* ligger djupare in i betongkonstruktionen än om den ligger ytligt. Betongen i byggnadsdelen var tätt armerad i vissa delar av byggnadsdelen och glesare i andra delar. En tätt armerad konstruktion kan vara svårare att sända signaler från men påverkan här förmodligen mindre än påverkan av betongen. Formmaterialet har betydelse för dämpningen av signaler i det tidiga skedet, innan formrivning. En homogen stålform dämpar signalen mycket, medan plyfaskivor som är relativt porösa dämpar avsevärt mycket mindre. Materialet i formen till pelaren bestod av både stål och plyfa och träreglar. Signalstyrkan avtar också med avståndet mellan sändare och mottagare. Den faktorn undersöktes i studien genom att flytta masterenheten så att den var placerad på olika avstånd från pelaren.

Kapitel 2

Sändare ingjutna i betongkonstruktion av begränsad storlek

På Electrotechs parkeringsplats provades överföring av signaler genom nygjuten och härdad betong i ett slaskförsök. Detta test genomfördes genom att montera ett flertal olika konfigurationer av antenn, temperatursensor och sändare/mottagare, i ett antal hinkar som fylldes med betong. Enheten av typen antenn-sändare/mottagare-temperatursensor är ett exempel på en *RFID-tag* och kallas i fortsättningen för en *tag*. *Taggarna* som användes i det här försöket var av en annan typ än vad som provades i en tidigare genomförd studie [1].

Resultatet från slaskförsöket visade att det i praktiken inte skulle behövas någon ytmonterad antenn för att leda ut signalen från betongkonstruktionen med den nya typen av *taggar*. Det visade sig också att det inte var någon signifikant skillnad på uppmätt signalstyrka i den färska betongen jämfört med den härdade. Eftersom slaskförsöket gav så positiva resultat valdes lösningen med en ytmonterad antenn bort.

I nästa försök placerades samma *taggar* ut i en större form som var tänkt att efterlikna en golvkonstruktion med begränsad yta. Resultatet av den undersökningen finns presenterad i en rapport skriven av Electrotech, se Bilaga 1.

Resultatet från det försöket bekräftade resultatet från den inledande undersökningen. Betongens härdningsprocess påverkar inte signalstyrkan nämnvärt. Det innebär att signalstyrkan är lika stor i betongens färska stadium som i dess härdade stadium. Vissa *taggar* tappade kontakten med masterenheten under en begränsad tid men inga mätdata förlorades. Slutsatsen var att det i praktiken inte behövdes någon ytmonterad

2. SÄNDARE INGJUTNA I BETONGKONSTRUKTION AV BEGRÄNSAD STORLEK

antenn för att sända signaler från ingjutna sensorer med utvalda konfigurationer av *taggar*.

Kapitel 3

Pilotstudie

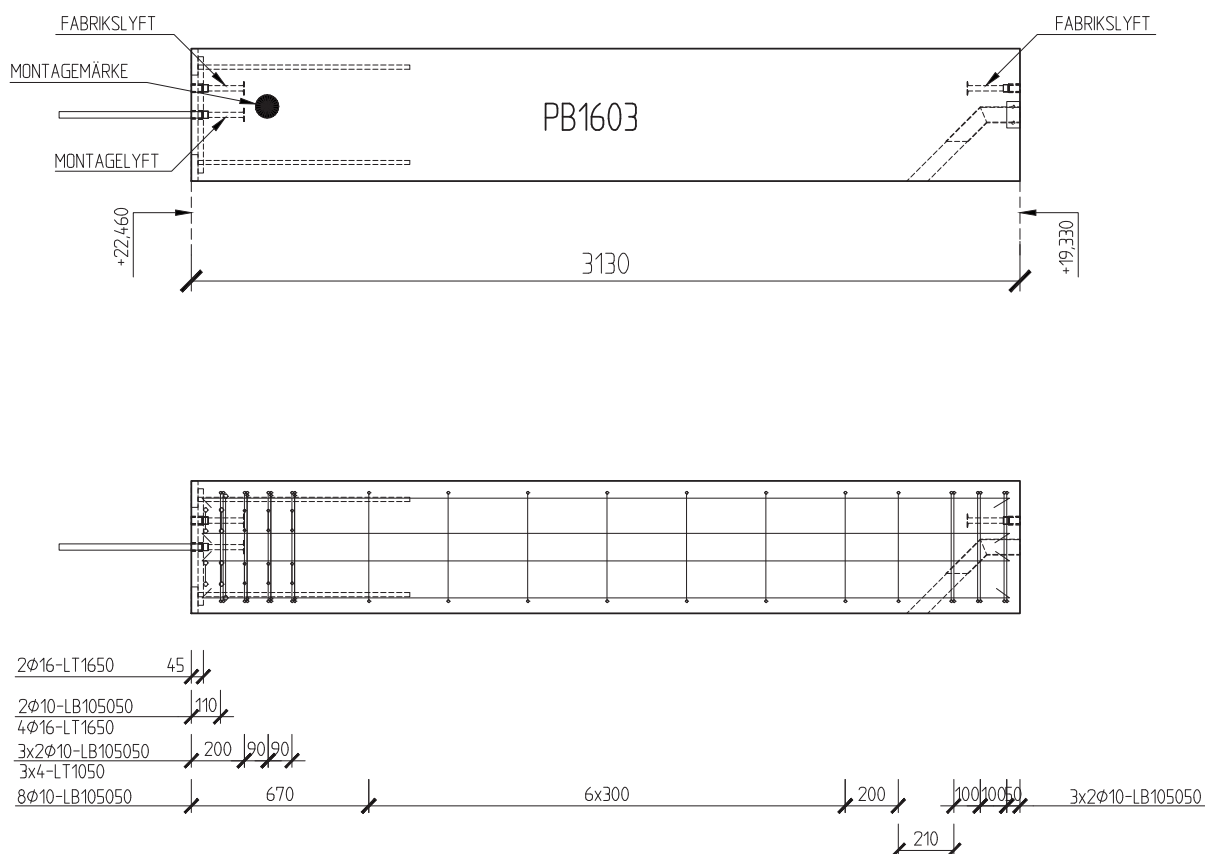
På Strängbetongs fabrik i Långviksmon provades ett trådlöst mätsystem för betongindustrin i en pilotstudie. Mätsystemet är utvecklat för att kunna användas både på arbetsplatser med platsgjuten betong och i prefabindustrin. Systemet består av en liten batteridrivna *RFID-tag* med mätsensor och radiosändare/mottagare, batteridrivna masterenhet. Masterenheten är uppkopplad mot GPRS-nätet och överföring av mätdata sker till en server som är åtkomlig via internet.

Syftet med pilotstudien var att prova systemet i en miljö som liknar en realistisk mätsituation så långt som möjligt. Därför kontaktades några byggarbetsplatser i närheten av Kalix för att få möjlighet att på plats montera mätsystemet i en form till en platsgjuten betongkonstruktion. Det visade sig vara svårt att samordna montage av mätsystem och efterföljande gjutning med kontaktade byggarbetsplatser och projektets arbetsresurser. Det gick enklare att planera in pilotstudien i Strängbetongs fabrik, eftersom gjutningar utförs dagligen där. Den fabrik som användes i pilotstudien var cirka 270 m lång, 45 meter bred på bredaste stället, ungefär 10 m hög och orienterad in nordsydlig riktning. Det trådlösa mätsystemet provades i den uppvärmda delen där all betongproduktion sker. Den delen av fabriken var cirka 210 m lång, 45 m bred och cirka 10 meter hög.

Byggnadsdelen som mätsystemet testades i pilotstudien var en pelare avsedd för ett flervåningshus. Det innebär att pelaren är helt autentisk och ska slutmonteras i ett flerbostadshus i Luleå, efter det här projektet är slutfört.

3.1 Byggnadsdel - pelare

Pelaren var 3130 mm lång och 500×500 mm² i tvärsnittet, se Figur 3.1.



Figur 3.1 Detalj av ritning på pelare, inklusive armeringsritning.

Pelarfornens undersida var av plyfa och cirka 15 mm tjock. Undersidan var avstyvad med fyra jämnt fördelade 45*95 mm träreglar som i sin tur låg på stålbalkar. Pelarsidorna utgjordes av solid stålplåt 6 mm tjock. Kortändarna på formen utgjordes av plyfa 18 mm tjock.

Pelaren göts den 18 december cirka en timme efter att *taggarna* monterats i pelarformen, cirka 13:20. Avformningen skedde tidigt morgonen därpå, den 19 december. Efter avformningen flyttades pelaren 120 meter söder ut och låg kvar där fram till den 3 januari 2013. Därefter flyttades pelaren ut från den uppvärmda fabriks hallen.

3.2 Betongkvalitet

Betongen som användes för pelaren innehöll både snabbcement och byggcement som bindemedel. Bindemedlet var uppdelat i två olika cementtyper för att styra temperaturutvecklingen på ett sätt som passar produktionstakten i fabriken. Snabbcementet har en hög reaktionshastighet och det innebär att sluthållfastheten ökar med ökad andel snabbcement i receptet. Sand och grusfraktionerna är uppdelade i fyra separata fickor, varav två är uppvärmda, betecknat med v i tabellen. Tillsatsmedlet Sikament VS-1, är ett effektivt vattenreducerande flyttillsatsmedel som ger betongen god arbetbarhet och god hållfasthetsutveckling. Det innebär att den är lämplig för självkompakterande betong. Därmed behöver produktionspersonalen inte vibrera betongen för att få en god utfyllnad i formen. Betongreceptet finns redovisat i Tabell 3.1.

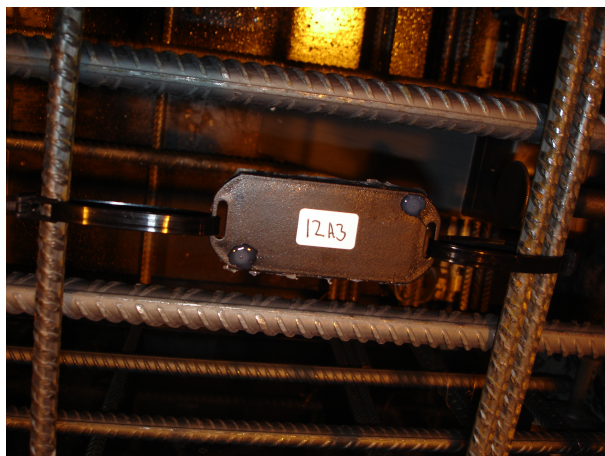
Tabell 3.1 Betongrecept pelare vct 0.4.

Material	Mängd [kg/m ³]
Slite SH	220
Byggcement	220
0-4 sand	395
0-4v	400
4-16	495
4-16v	490
Sikament VS-1	3.96
Varmvatten	173.2

3.3 RFID-taggar

Taggarnas mottagare kan uppfatta en signalstyrka ner till cirka -100 dBm och *taggarnas* sändare har en signalstyrka av +10 dBm (10mW) utan förstärkare och +27 dBm (500 mW) med förstärkare. Frekvensen som används är 868.3 MHz i båda riktningarna, dvs både *taggarna* och masterenheten kommunicerar i frekvensbandet 868.3 MHz.

Den 18:e december monterades sex *taggar* i mätposition i en gjutform till en pelare, se Figur 3.2.



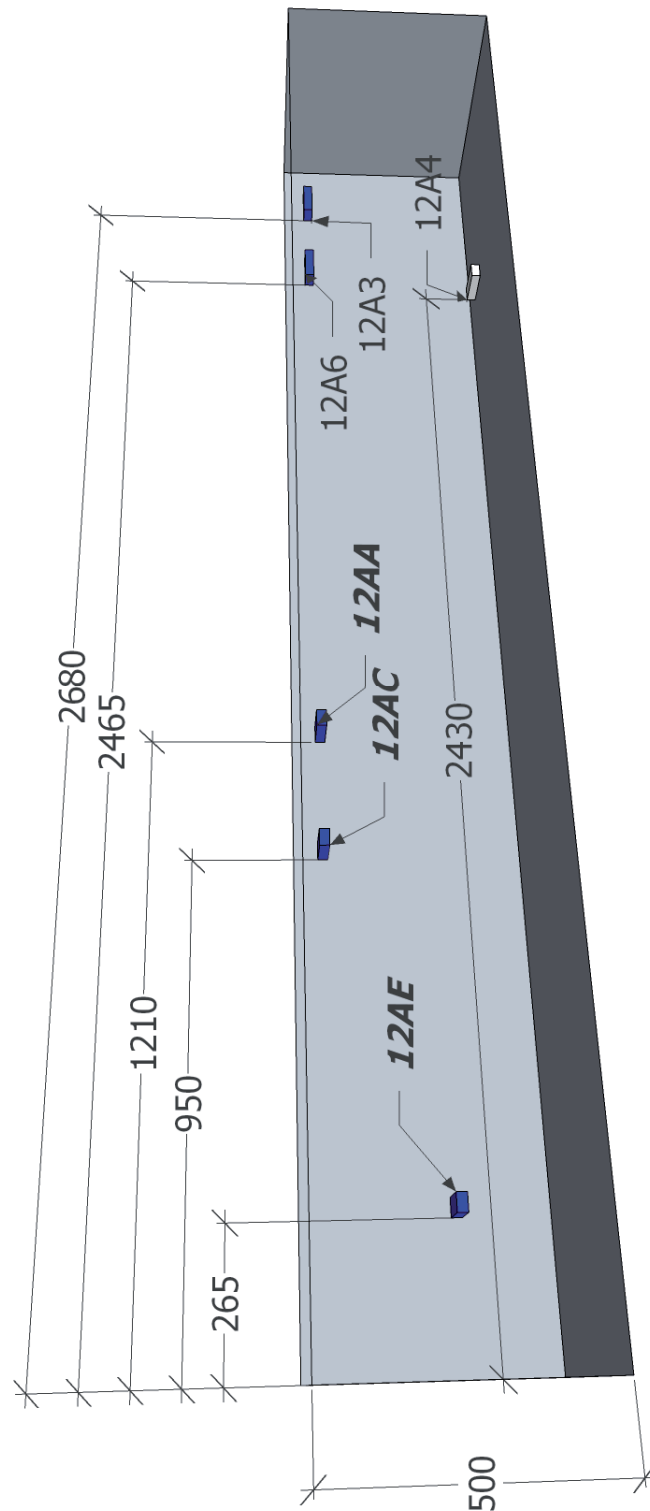
Figur 3.2 Tag 12A3 monterad mellan två armeringsjärn cirka 40 mm under färdig yta betong.

Taggar monterades fast i armeringskorgen med två buntband av plast, ett i vardera ände. Två taggar utan förstärkare monterades cirka 150 mm ovanför formen på ett plåtstag. Dessa två taggar utgjorde en referens som inte göts in betong och var aktiva under en begränsad tid av studien, cirka 6 timmar. Två olika typer av antenner användes i försöket dels en gummiantenn och dels en flexantenn. I Tabell 3.2 finns varje tags antennlösning redovisad. Taggarna monterades på olika djup med olika täckande

Tabell 3.2 Typ av antenn som är kopplad till RFID-tag och används för radioöverföring.

RFID-tag	Konfiguration
12A3	Flexantenn utan förstärkare
12A4	Flexantenn utan förstärkare
12A6	Gummiantenn utan förstärkare
12AA	Flexantenn med utan förstärkare
12AC	Flexantenn med förstärkare
12AE	Gummiantenn med förstärkare
12A5 referens	Flexantenn utan förstärkare
12A7 referens	Gummiantenn utan förstärkare

betongskikt, 40 mm och 265 mm. Fyra av taggarna placerades på ovansidan av pelaren och en tag 12A4 placerades på undersidan av formen. En tag placerades i närheten av pelarcentrum, 265 mm ner från ovanyta betong och 265 mm från pelartopp, se Figur 3.3. Taggar i fetstil **12AE**, **12AC** och **12 AA** representerar enheter med förstärkare och övriga taggar hade inte förstärkare.

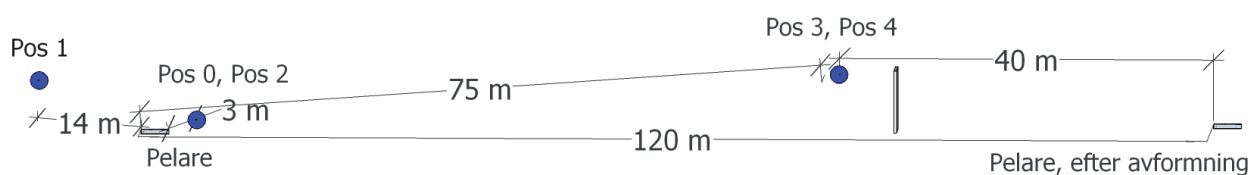


Figur 3.3 Principskiss som visar placering av taggar i pelare.

3.4 Masterenhet

I masterenheten som användes i pilotstudien satt en sändare utan förstärkare, med en signalstyrka av +10 dBm (10mW) och en mottagare som kan uppfatta en signalstyrka ner till cirka -100 dBm.

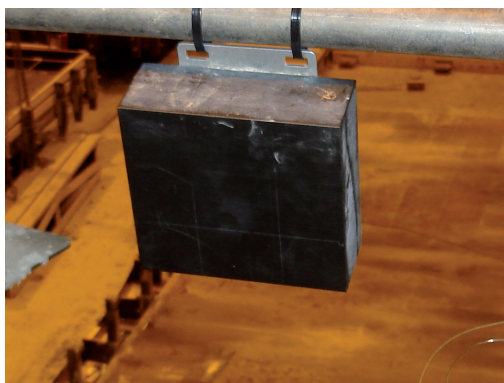
Pilotstudien innebar att signalstyrkan undersöktes genom att flytta masterenheten (mottagare och sändare) till olika positioner med olika avstånd från de ingjutna taggarna i pelaren, se Figur 3.4.



Figur 3.4 En principskiss som visar avstånd mellan sensorer och masterenhet i olika positioner. Masterenheten är markerad med pos 0-pos 4. Notera att pelare flyttats till höger i bild efter avformning.

Efter gjutning och avformning flyttades pelaren från sin ursprungliga position och hamnade ungefär 40 meter från masterenheten bakom en betongvägg, se Figur 3.4, Pos 4.

Masterenheten är tillverkad i ett väldigt robust material och är svart/brunfärgad, se Figur 3.5. Dess design är tänkt att vara så oansenlig som möjligt så att den inte utsätts för skadegörelse eller stjäls.



Figur 3.5 Masterenhet monterad i position 3, cirka 75 meter från pelare.

Kapitel 4

Resultat och diskussion

4.1 Signalstyrka

Signalstyrkan uppmättes både av *taggar* och masterenhet och loggades varannan minut. Dessa data importerades från en datafil som låg på en server och var åtkomlig via internet. Data behandlades och utvärderades sedan med MatLab, en programvara för effektiv behandling av mätdata.

Signalstyrkan är beräknad som ett medelvärde i dBm. Medelvärdet i signalstyrka gäller för en viss tidsperiod som sammanfaller med perioden då master-enheten var placerad på ett visst avstånd från pelaren, pos 0-pos 4. Pos 0 och pos 2 utgör en referensposition för masterenheten där signalstyrkan utvärderades innan och efter fullbordad gjutning. Signalstyrkan registrerades varannan minut och medelvärdet bildades av summan av samtliga registreringar under tidsperioden delat med antalet registreringar.

Medelvärdesbildningen på signalstyrkan är ett mått hur hög signalstyrkan är i medel då signalen väl når fram till mottagaren. Det kan dock vara så att signalen inte når fram alls under delar av den tidsperioden. Signalstyrkan är starkare ju högre värdet är, det innebär att en signalstyrka på -60 dBm är starkare än -70 dBm.

4. RESULTAT OCH DISKUSSION

Medelvärde för signalstyrkan under respektive tidsperiod från enskild *tag* som masterenheten tar emot redovisas i Tabell 4.1. I den högra kolumnen visas skillnaden i signalstyrka mellan pos 0 och pos 2, det vill säga med och utan betong.

Tabell 4.1 *Tidsmedelvärde signalstyrka TxRSSI, som masterenheten uppfattar från respektive tag på olika positioner.*

Tag Namn	Pos 0 [dBm]	Pos 1 [dBm]	Pos 2 [dBm]	Pos 3 [dBm]	Pos 4 [dBm]	Pos 2-Pos 0 [dBm]
12A3	-63	-77	-70	-85	-81	-7
12A4	-54	-91	-89	-91	-94	-35
12A6	-50	-64	-73	-82	-74	-23
12AA	-49	-79	-67	-80	-85	-18
12AC	-46	-68	-70	-70	-70	-24
12AE	-49	—	—	—	—	—
12A5-ref	-73	-79	-71	-86	—	2
12A7-ref	-59	-69	-57	-65	—	2

Signalstyrkan som masterenheten uppfattar från de *taggar* utan förstärkare, 12A3 och 12A6 är sammantaget, cirka 3 dBm, lägre än jämförbara *taggar* med inbyggda förstärkare, **12AA** och **12AC**. *Tag* 12A4 satt också 40 mm under betongytan men på undersidan av pelaren, det vill säga i botten av formen, därför är den inte jämförbar med 12A3 och 12A6.

Två av *taggarna*, *tag* 12A4 och **12AA** saknar värde för signalstyrka under en period av 10 timmar, se figurer 4.3 och 4.5. Det skedde under en större del av tiden då masterenheten var i pos 3, cirka 75 m från pelaren. *Tag* 12A4 återfick aldrig kontakten med masterenheten. *Tag* **12AA** återfick kontakt med masterenheten i pos 3 och tappades sedan inte i pos 4 när pelaren låg på betonggolvet 40 m från masterenheten. Tidsperioden sammanfaller till viss del med att betongen var nygjuten och färsk men det är med stor sannolikhet inte förklaringen till att kontakten tappades. Motsvarande *taggar* har inte påverkats alls av den färska betongen. Däremot satt *tag* **12AA** roterad ett kvarts varv, 90°, jämfört med 12A6 och 12A3 vilket kan påverka signalstyrkan negativt dock är den påverkan kontinuerlig under en hel mätperiod. Å andra sidan var *tag* **12AC** orienterad på samma sätt dvs roterad ett kvarts varv jämfört med 12A6 och 12A3 och *tag* **12AC** tappade aldrig kontakten, se Figur 4.6.

Signalen från *tag* **12AE** tappades i direkt anslutning till gjutning. Det kan vara så att vatten läckte in i *taggen* och förstörde elektroniken permanent eller att signalen

dämpades så kraftigt av betongen att den inte nådde masterenheten. Det gick inte att bestämma det sanna skälet till att signalen tappades mot bakgrund av mätningen. *Tag* 12A5, 12A7 är referenser som inte är ingjutna i betong.

Det framgår tydligt av Tabell 4.1 att betongen dämpar signalstyrkan från *taggarna*. Skillnaden i signalstyrka mellan position pos 0 och pos 2, är mellan -35 dBm och -7 dBm för de ingjutna *taggarna*. Det starkaste påverkan av betongen registreras för *tag* 12A4 där är dämpningen 35 dBm, som ligger i botten på formen och den svagaste påverkan uppgår till 7 dBm, som registreras av *tag* 12A3 som ligger i toppen av formen. Båda dessa resultat ligger som förväntat, de *taggar* som är täckta av 40 mm betong dämpas mindre och den som är täckt av mest betong dämpas mest.

Skillnaden i signalstyrka för *referenstaggarna* som inte är ingjutna är 2 dBm och 3 dBm från pos 0 till pos 2. Signalstyrkan är alltså starkare i pos 2 i båda *referenstaggarna*. Att signalstyrkan är starkare i pos 2 kan betyda att masterenheten inte flyttades till exakt samma plats, men behöver inte betyda det. Skillnaden är marginell och innebär att pos 0 är jämförbar med pos 1 för de ingjutna *taggarna*.

Tabell 4.2, visar medelvärdet för respektive position för signalstyrkan som en enskild *tag* känner av signaler från masterenheten. I den högra kolumnen visas skillnaden i signalstyrka mellan pos 0 och pos 2.

Tabell 4.2 Tidsmedelvärde på signalstyrka $RxRSSI$, som taggen uppfattar från masterenheten, för respektive sändare på olika positioner.

Tag Namn	Pos 0 [dBm]	Pos 1 [dBm]	Pos 2 [dBm]	Pos 3 [dBm]	Pos 4 [dBm]	Pos 2-Pos 0 [dBm]
12A3	-61	-74	-68	-82	-79	-7
12A4	-52	-88	-87	-91	-91	-35
12A6	-46	-63	-72	-79	-73	-26
12AA	-42	-74	-65	-74	-85	-23
12AC	-35	-56	-58	-71	-67	-23
12AE	-34	—	—	—	—	—
12A5-ref	-70	-77	-67	-83	—	3
12A7-ref	-58	-68	-55	-63	—	3

Signalstyrkan som *taggarna* utan förstärkare känner av från signaler sända från masterenheten är någon dBm lägre jämfört med det som masterenheten känner från *taggarna*. I medel är signalstyrkan 2 dBm lägre. Signalstyrkan som de *taggar* med förstärkare uppfattar från masterenheten är mellan 12 och 0 dBm lägre jämfört med det

4. RESULTAT OCH DISKUSSION

masterenheten känner från *taggarnas* förstärkta signal. I medel är signalstyrkan cirka 6 dBm lägre. Det är naturligt eftersom det bara är signalen från *taggen* som är förstärkta och inte signalen från masterenheten.

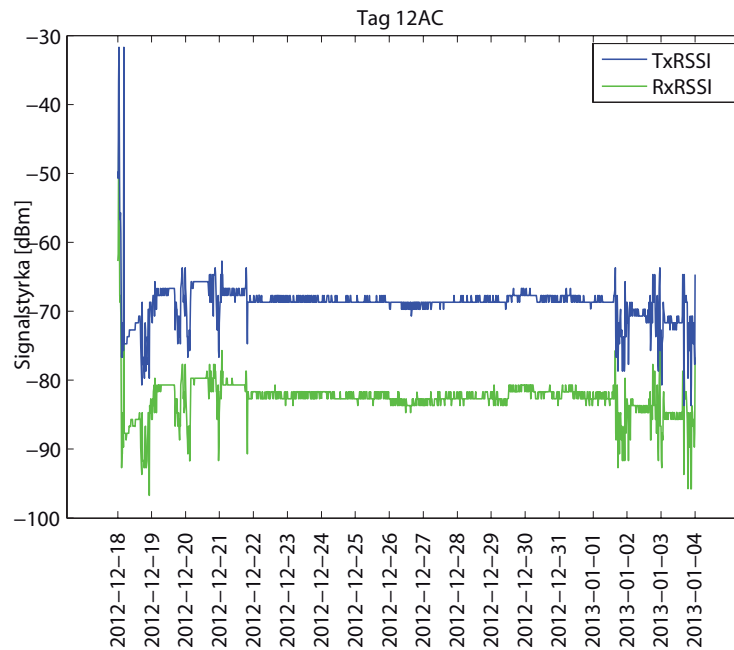
I Tabell 4.3, visas ett medelvärde för alla *taggar* med och utan förstärkning samt *referenstaggarna*. Den tabellen visar i viss mån effektiviteten av förstärkaren.

Tabell 4.3 Medelvärde signalstyrka för alla taggar med respektive utan förstärkare på respektive position.

Taggar Namn	Pos 0 [dBm]	Pos 1 [dBm]	Pos 2 [dBm]	Pos 3 [dBm]	Pos 4 [dBm]	Pos 2-Pos 0 [dBm]
Tx Utan förstärkare	-56	-77	-77	-86	-83	-21
Tx Med förstärkare	-48	-74	-69	-75	-78	-21
Tx Referenttaggar	-66	-74	-64	-76	—	2
Rx Utan förstärkare	-53	-75	-76	-84	-81	-23
Rx Med förstärkare	-35	-56	-58	-71	-67	-24
Rx Referenstagg	-64	-73	-61	-73	—	3

När betongen har gjutits så sjunker signalstyrkan med mellan 24 och 21 dBm i medel. Det är en klar försämring men marginalen ner till -100 dBm, är mellan 20 och 40 dBm, vilket får anses vara bra.

Signalstyrkan från *tag 12AC* visas i Figur 4.1.



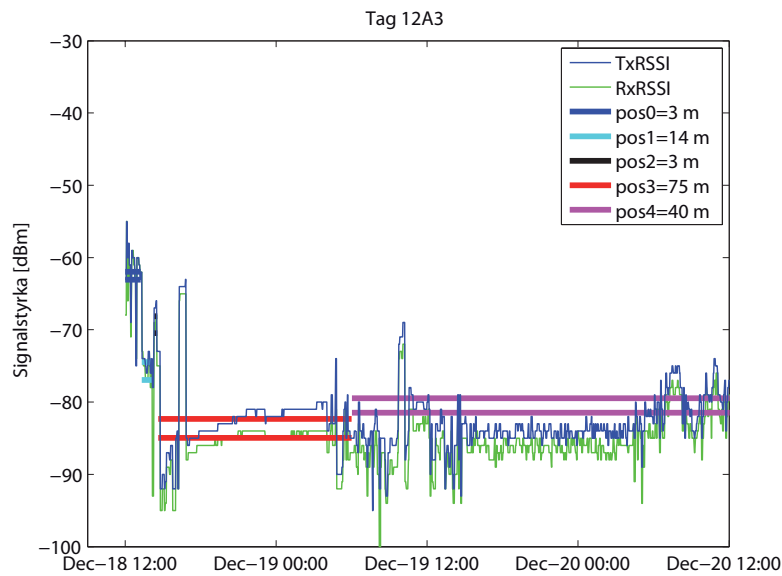
Figur 4.1 Signalstyrka, yligt monterad tag utan förstärkare cirka 40 mm från yta betong.

Det är tydligt att signalstyrkan varierar betydligt under de första dagarna av mätperioden från den 18 - 22 december. Därefter vidtar en period med nästan konstant signalstyrka för att i slutet återigen variera mycket. Denna observation stämmer väl överens med att fabriken var stängd under juluppehållet från den 22 december till den 1 januari. Inga aktiviteter förekom under den perioden som kunde påverka signalstyrkan. Utvärderingen av medelvärde för position 4 påverkas i hög grad av detta. Det var värdefullt att kunna mäta styrkan i signalen under både ostörda förhållanden och varierande förhållanden.

4.2 Taggar utan förstärkare

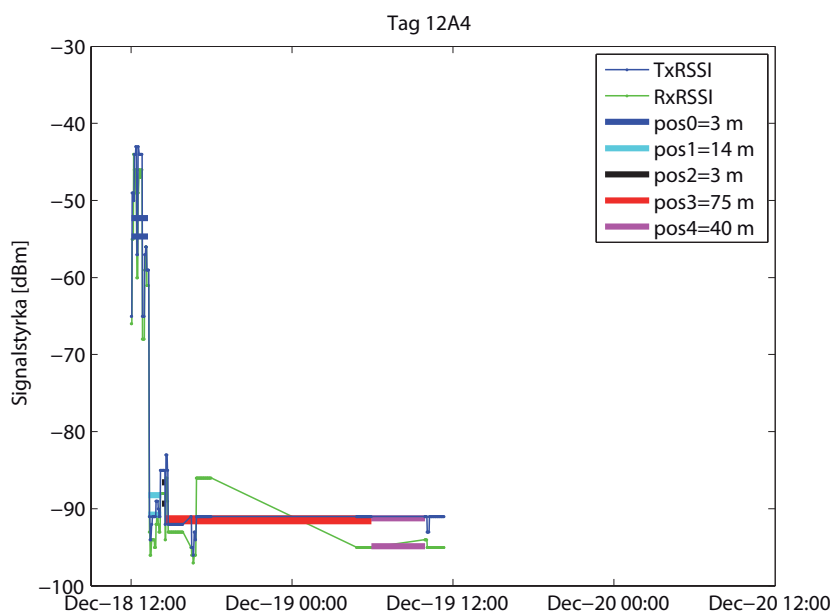
I figur 4.2 visas signalstyrkan för tag 12A3 för de 2 första dyggen i mätperioden. Tag 12A3 sitter 40mm ner från betongytan och är utan förstärkare. Det är tydligt att signalstyrkan sjunker med avståndet och är som lägst cirka -85 dBm i medel. Enstaka värden ligger nere på -90 dBm men de förekommer inte frekvent. Det är cirka 15 till 20 dBm kvar till gränsen för funktion när avståndet mellan pelare och masterenhet är 75 m.

4. RESULTAT OCH DISKUSSION



Figur 4.2 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, yligt monterad tag utan förstärkare cirka 40 mm från yta betong.

Figur 4.3 visar signalstyrkan för tag 12A4 under delar av det första dygnet i mätperioden. Tag 12A4 är utan förstärkare och sitter 450mm ner från den övre betongytan

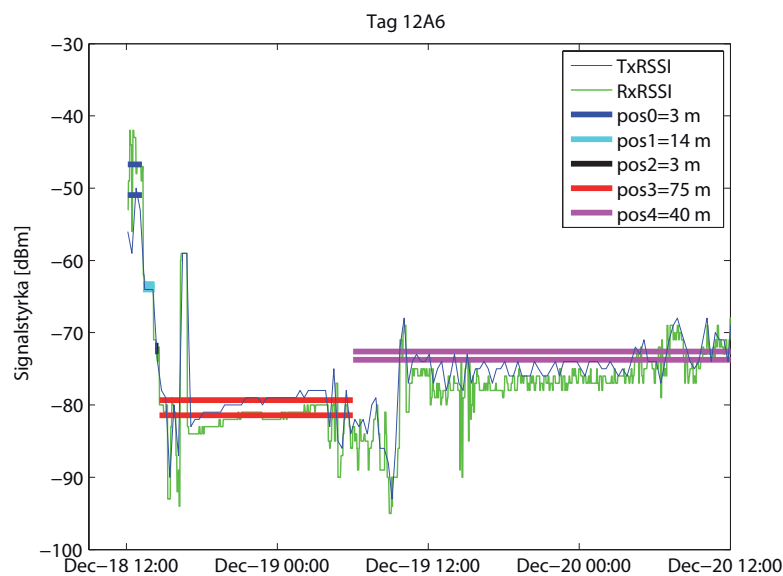


Figur 4.3 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, djupt monterad tag utan förstärkare cirka 450 mm från översida pelare.

och är utan förstärkare. Det är tydligt att signalstyrkan sjunker med avståndet och är

som lägst cirka -95 dBm i medel. Enstaka värden ligger nere på -97 dBm det vill säga på gränsen för radioöverföring mellan *tag* och masterenhet. Signalstyrkan är låg under hela mätperioden och kommunikationen upphör helt under en del av perioden. Efter flytten till position 4 tappas kontakten helt. När pelaren sedan flyttas ut ur byggnaden, den 3 januari 2013, återupptas kontakten under någon minut för att sedan försvinna helt igen redovisas ej i diagrammet. Det är mycket möjligt att signalen inte har gått genom 450 mm betong. En möjlig förklaring är att signalen har smitit ut på undersidan, pelarformens undersida som var av plyfa vilade på träreglar som i sin tur låg på stålbalkar.

Den uppmätta signalstyrkan för *tag* 12A6 under de två första dygnen visas i Figur 4.4. Signalstyrkans variation med position för *tag* 12A6 liknar i princip resultatet från

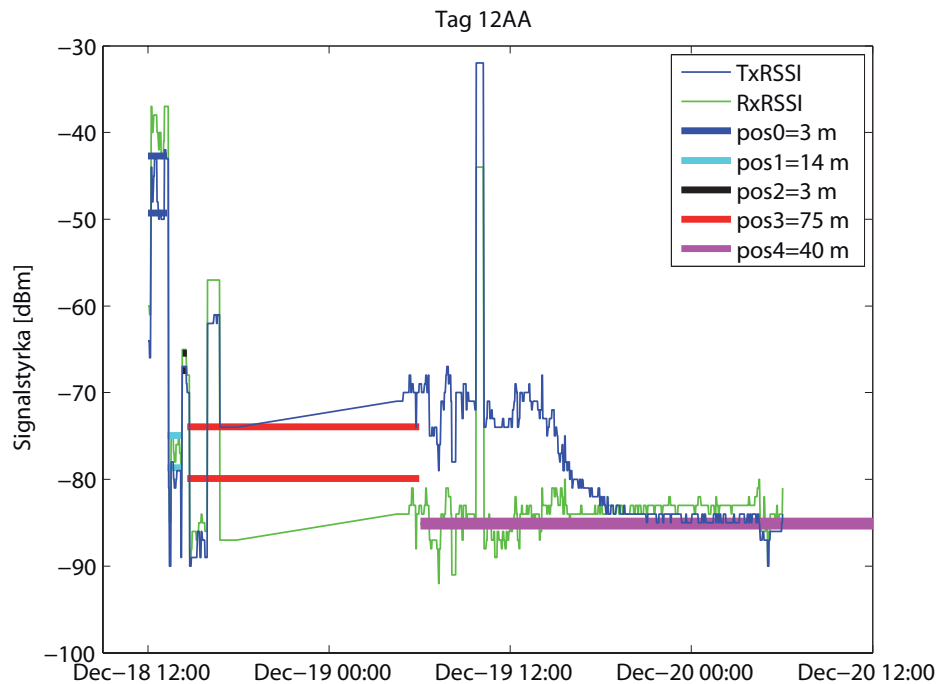


Figur 4.4 Signalstyrka (*tag* och *master*) från olika positioner, medelvärde, ytligt monterad *tag* utan förstärkare cirka 40 mm från yta betong.

tag 12A3. Den stora skillnaden är att den uppmätta signalens styrka är bättre i båda riktningarna. Några enstaka mätpunkter ligger under -90 dBm, men medelvärdet är mellan 80 dBm och 70 dBm, för position 3 respektive position 4.

4.3 Taggar med förstärkare

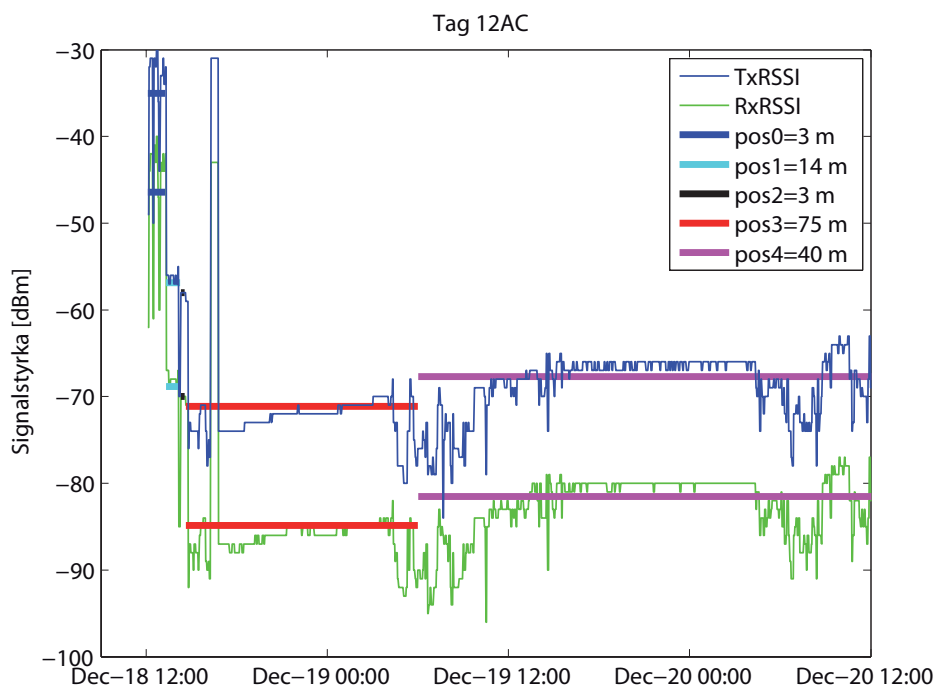
Signalstyrkan från *tag 12AA* under de två första dygnen visas i Figur 4.1. Den registre-



Figur 4.5 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, ytligt monterad tag med förstärkare cirka 45 mm från yta betong.

rade signalstyrkan är sämre när en betongvägg är mellan masterenhet och pelare, än när pelaren ligger kvar i gjutformen 75 m bort med “fri sikt”. Skillnaden i signalstyrka mellan position 3 och position 4 är mellan 5 och 10 dBm. Dock är kommunikationen mellan master och *tag 12AA* helt bruten under 10 timmars tid för position 3 vilket innebär att medelvärdet för den positionen blir överskattat. Det verkar som att förstärkaren i *taggen* har lagt av cirka kl 16 den 19 december det syns på den tunna kurvan i diagrammet som motsvaras av TxRSSI.

Figur 4.6 visar signalstyrkan för tag **12AC** under de första två dyggen i mätperioden. Den registrerade signalstyrkan är något högre när en betongvägg är mellan

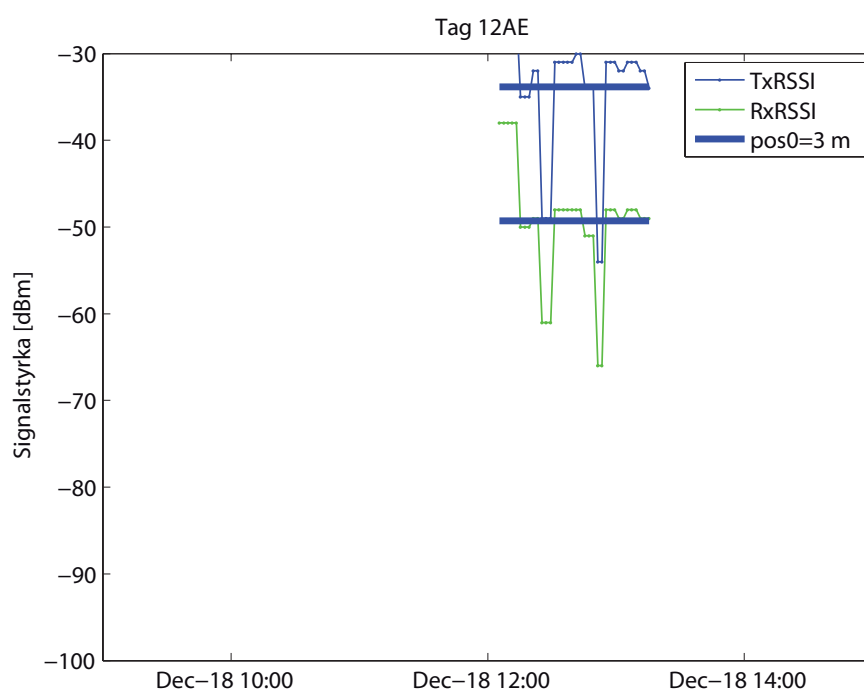


Figur 4.6 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, ytligt monterad tag med förstärkare cirka 40 mm från yta betong.

masterenhet och pelare och avståndet 40 m, än när pelaren ligger kvar i gjutformen 75 m bort med “fri sikt”. Skillnaden i signalstyrka mellan position 3 och position 4 blir därför cirka 5 dBm.

Figur 4.7 visar signalstyrkan för tag **12AE** under första timmen det första dygnet i mätperioden. Notera den korta tidsperioden som sändningen vidmakthölls. Kontakten bröts i och med att betongen göts. Fram till dess var den registrerade signalstyrkan -50 dBm vilket är bra. Det kan vara så att vatten läckte in i taggen och förstörde elektroniken permanent eller att signalen dämpades kraftigt av betongen. Det gick inte att bestämma det “sanna skälet” till att signalen tappades mot bakgrund av resultatet från mätningen.

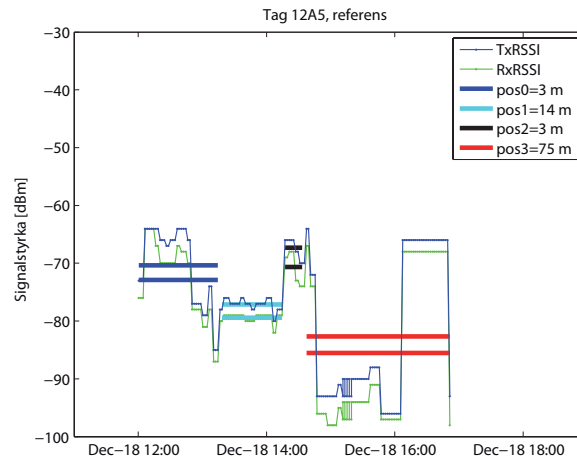
4. RESULTAT OCH DISKUSSION



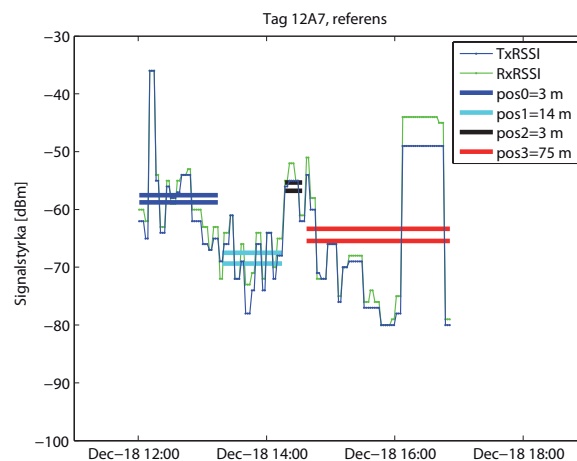
Figur 4.7 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, djupt monterad tag med förstärkare cirka 265 mm från yta betong.

4.4 Referenstaggar

Signalstyrkan för *referenstaggar* 12A5 och 12A7 visas i Figur 4.8 respektive Figur 4.9. Skillnaden i signalstyrka mellan *referenstaggar* är stor och kan förklaras med



Figur 4.8 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, referenstag utan förstärkare monterad på formen cirka 150 mm utanför pelaryta.

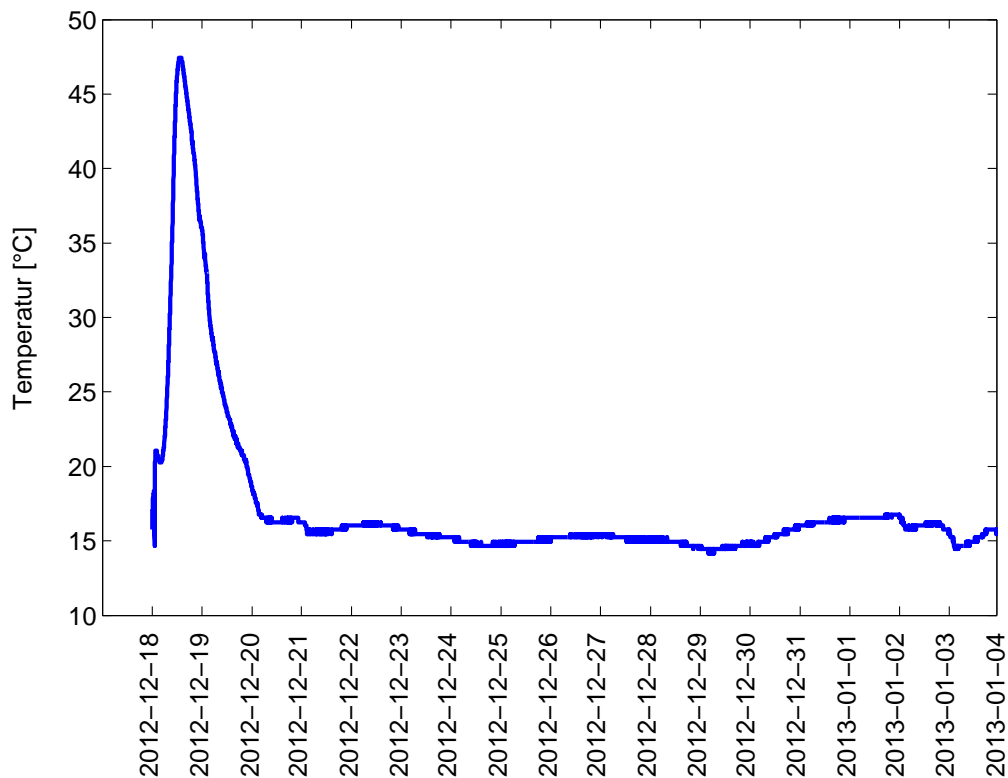


Figur 4.9 Signalstyrka (tag och master) från olika positioner, medelvärde, referenstag utan förstärkare monterad på formen cirka 150 mm utanför pelaryta.

att antennen är olika. Referenstag 12A7 visar en högre signalstyrka på mellan 12-20 dBm. Det beror med stor sannolikhet på att den har en gummi antenn.

4.5 Temperatur

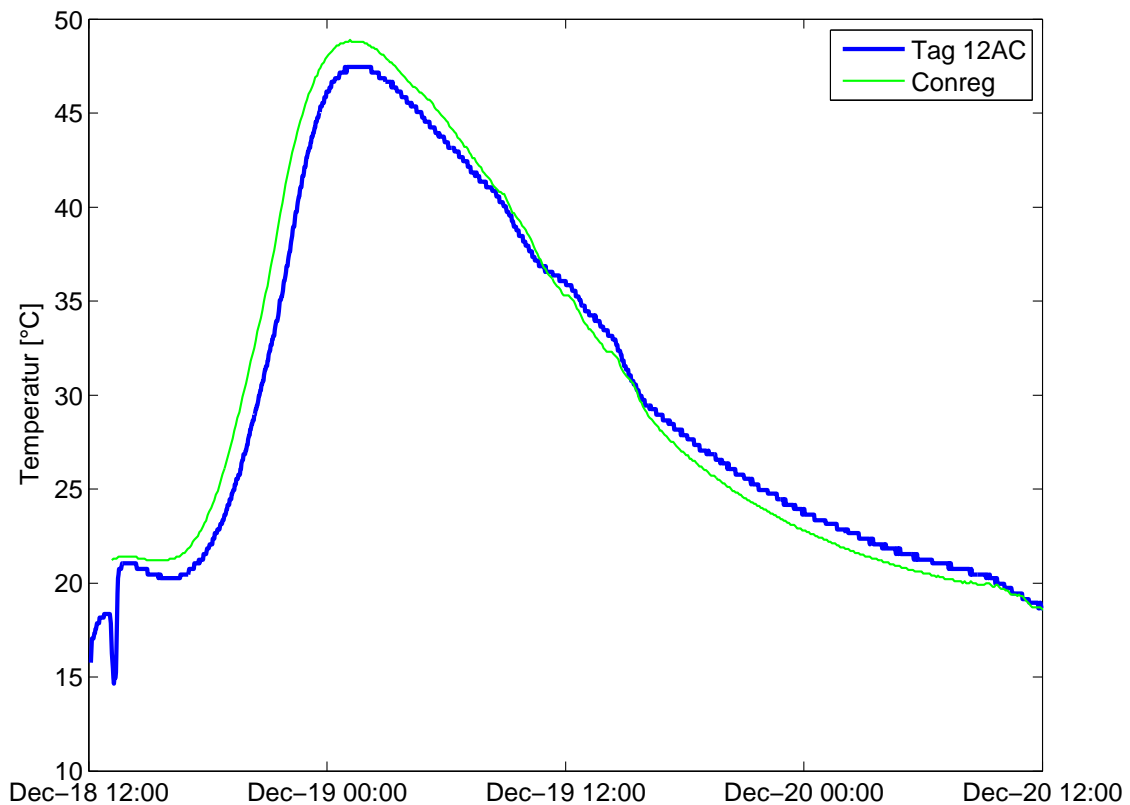
Temperaturen loggades i samtliga *taggar* och ett exempel på temperaturutveckling visas i Figur 4.10. Temperaturen redovisas för en *tag* som sitter 40 mm under betong-



Figur 4.10 Temperatur, yligt monterad tag utan förstärkare cirka 40 mm från yta betong monterad mellan två armeringsjärn.

ytan. Diagrammet visar temperaturutvecklingen från någon minut före gjutning till sjutton dagar efter gjutning. Temperaturen sjunker en kort tid efter gjutning för att sedan stiga kraftigt några timmar efter gjuttillfället upp till 47 °C för att sedan sjunka till omgivningens temperatur två dagar efter gjutning. Det liknar den förväntade temperaturutvecklingen. Det ska noteras att sensorn sitter i luften inne i en förseglad plastlåda. Det innebär att temperatursensorn inte är i direktkontakt med betongen. Därför blir resultatet av mätningen ett medelvärde av temperaturen för temperaturfältet där *taggen* sitter monterad.

Jämförande mätningar av temperaturen har utförts med ConReg. Det framgår av tydligt av Figur 4.11 att temperaturkurvan som registrerats av tag **12AC** har ett liknande utseende som temperaturkurvan som uppmätts av ConRegsystemet. Skill-



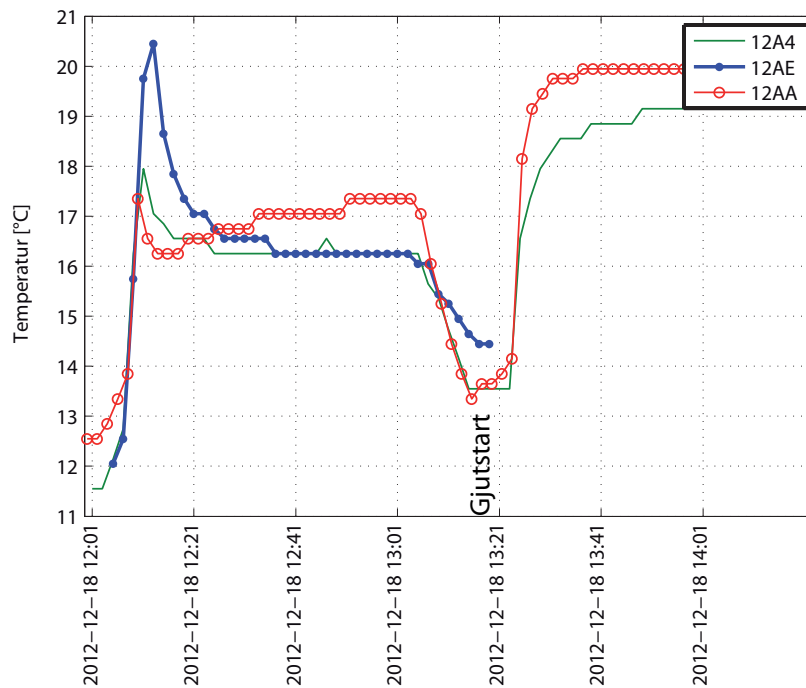
Figur 4.11 Temperaturjämförelse tag12AC jämfört med ConReg.

naden i temperatur är som mest cirka 5 grader, där ConRegsystemet mäter en högre temperatur i det tidiga skedet. Temperaturskillnaden förklaras av att temperatursensorn för ConRegsystemet låg djupare ner i betongmassan än tag **12AC**. Det kan också vara så att kurvorna är lite förskjutna i sidled, på grund av en liten skillnad i klocktid mellan ConRegsystemet och det trådlösa mätsystemet. Dessutom finns det en viss mätosäkerhet som innebär att sensorerna visar en annan temperatur än den “sanna” temperaturen.

Det innebär att en beräkning av hållfasthetsutvecklingen också skulle ligga nära den som ConReg räknar fram, givet att samma tendenskurva används.

Registrerad temperatur för taggar **12A4**, **12AE** samt **12AA** visas i Figur 4.12. Figur

4. RESULTAT OCH DISKUSSION



Figur 4.12 Temperaturjämförelse tag 12AE jämfört med 12AA och 12 A4.

4.12 visas för att åskådlig göra att tag **12AE** har slutat fungera precis vid gjutningen. Tidpunkten då temperaturer har slutat registreras i tag **12AE** sammanfaller väl med gjutstart. Tag 12A4 är placerad djupare ner i formen än tag **12AE** som i sin tur är placerad djupare ner än tag **12AA**.

Kapitel 5

Slutsats

Vi har utvecklat och testat flera prototyper till RFID-taggar för ett trådlöst mätsystem, som mäter temperatur i en betongkonstruktion med ingjutna sensorer. Dessa prototyper har testats i en pilotstudie i Långviksmon på Strängbetongs fabrik. Pilotstudien genomfördes under en tvåveckorsperiod under juluppehållet 2012-2013. I studien registrerades temperaturen i en pelare på sex ställen med sex individuella RFID-taggar placerade på olika mätdjup längs pelarens centrumlinje. Parallellt med mätsystemet registrerades också temperaturförloppet med ConReg. Mätresultatet från det trådlösa systemet visade god överensstämmelse med Conreg.

Resultatet från undersökningen av det utvecklade systemet har visat att det går bra att gjuta in sändaren. Resultatet visar att *taggarna* upprätthåller kommunikationen med masterenheten genom 120 mm betong samt 25 m luft "fri sikt", och genom 40 mm betong och samtidigt 75 m sändsträcka i luft "inte fri sikt". Det innebär att det inte är nödvändigt att montera en antenn på betongytan, vilket betyder att målet för projektet överträffades. De bästa resultaten erhöles med gummiantenn monterad på *RFID-taggen*.

Resultatet från pilotstudien visar att det trådlösa mätsystemet har goda förutsättningar att utvecklas till en färdig produkt och kommersialiseras. Förutsatt att det finns en funktionsduglig ingjutningsbar fuktsensor är möjligheterna goda att lägga till en sådan funktion till det utvecklade mätsystemet.

Litteraturförteckning

- [1] A. Sjöberg and M. Gerstig. Trådlös mätning av temperatur i nygjuten betong, litteratur- och experimentell fältstudie. Rapport TVBM-3149, Avd. Byggnads-material, 2009. [2](#)

Bilaga

I den här bilagan bifogas rapporten från Electrotech som beskriver försöksuppställning, resultat och slutsatser för förstudien. Rapporten heter Förstudie - Försök med radiosändning genom betong.

Förstudie

Försök med radiosändning genom betong

Preliminär rapport rev. 0

Urban Classon ElectroTech AB

1 INNEHÅLL

1	INNEHÅLL	2
2	GENERELLT	3
2.1	Dokumenthistoria.....	3
2.2	Distribution	3
2.3	Definitioner	3
2.4	Referenser.....	3
2.5	Mål för utredningen.....	3
3	GENOMFÖRDA PROV	4
3.1	Tagg 0x1249	5
3.2	Tagg 0x124A	6
3.3	Tagg 0x124B.....	7
3.4	Tagg 0x124C.....	8
3.5	Tagg 0x124D.....	9
3.6	Tagg 0x124E	10
3.7	Tagg 0x124F	11
3.8	Tagg 0x1250	12
3.9	Tagg 0x1253	13
3.10	Uppmätt temperatur	14
4	RESULTAT	15
5	SLUTSATS	16

2 GENERELLT

2.1 Dokumenthistoria

Datum	Revision	Beskrivning
2012-08-24	0	Dokumentet skapades, preliminär utgåva

2.2 Distribution

Kopia till: Byggtek, Magnus Åhs

2.3 Definitioner

RFID Radio Frequency IDentification, i princip elektroniska streckkodsetiketter.
Tagg RFID transponder.
Aktiv tagg Tagg med inbyggt batteri, ger i regel längre räckvidd.
RFID-Läsare Utrustning med elektronik och antenn för att för att läsa taggar.

2.4 Referenser

Inga externa referenser i detta dokument.

2.5 Mål för utredningen

1. Säkerställa överföringen av signaler från en trådlös sensor ingjuten i betong med en ytligt placerad antenn.
2. Testa ett system användbart för byggarbetsplatser i fält.

3 GENOMFÖRDA PROV

Provet har genomförts genom att montera sammanlagt 8st RFID taggar med olika antenner och placering i en prefabricerad gjutform med armering. Utöver detta har vi även haft en tagg monterat cirka 30cm ovanför gjutformen i syfte att agera som referens. Den radioenhet som pollat taggarna samt hämtat data från dem och skickat vidare via GPRS har suttit monterad 25m från gjutformen cirka 2m ovanför marken. Varje tagg har ett unikt ID som består av ett hexadecimalt 16-bitars värde. De 8st ingjutna taggarna har ID 0x1249-0x1250 medan referenstaggen har ID 0x1253. På bild1 nedan visas den gjutna formen samt en röd pil som pekar på läsaren som sitter monterad på träplanket. Bild2 nedan visas formen innan gjutning.



Bild1.

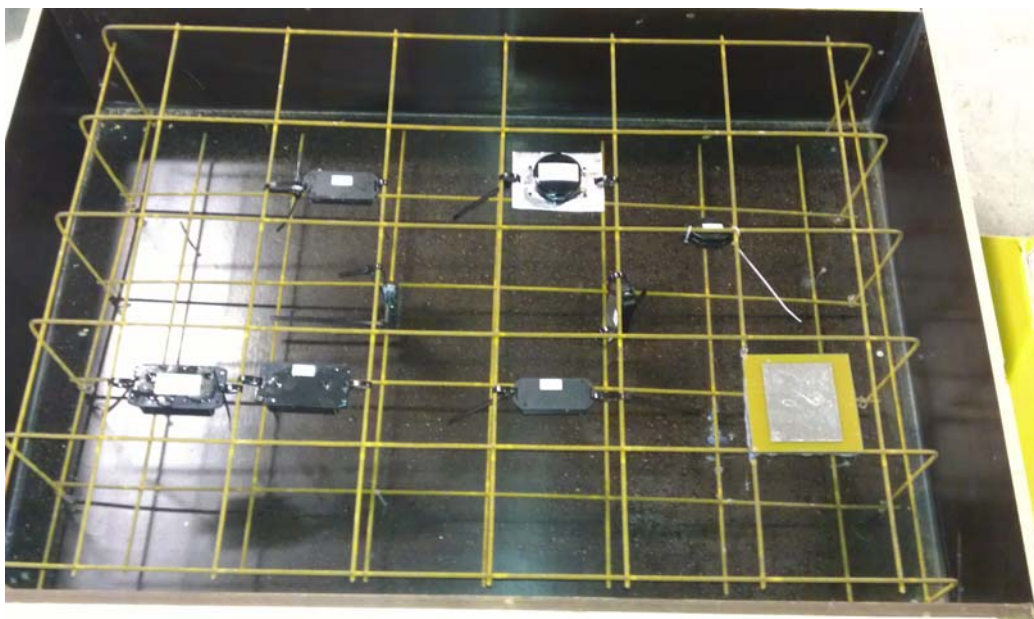


Bild2.

3.1 Tagg 0x1249

Denna antennlösning är speciellt framtagen av LTU för att sända från markplanet, t.ex sittandes i ytan på en asfaltväg. Bild3 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild4 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -49dBm för att efter ingjutning landa på cirka -79dBm, en försämring på cirka 30dBm.



Bild3

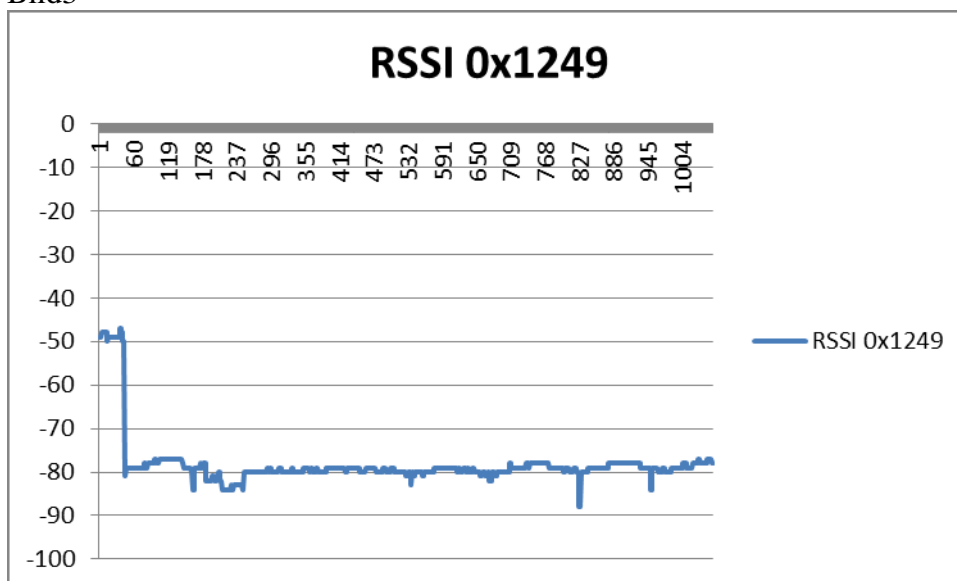


Bild4

3.2 Tagg 0x124A

Denna antennlösning är en standardiserad antenn från Proant. Monteringsmässigt så är den väldigt bra då tar liten plats och ryms inne i kapslingen. Bild5 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild6 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -75dBm för att efter ingjutning inte förändras nämnvärt. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan tvärt från cirka -70dBm till -80dBm.



Bild5

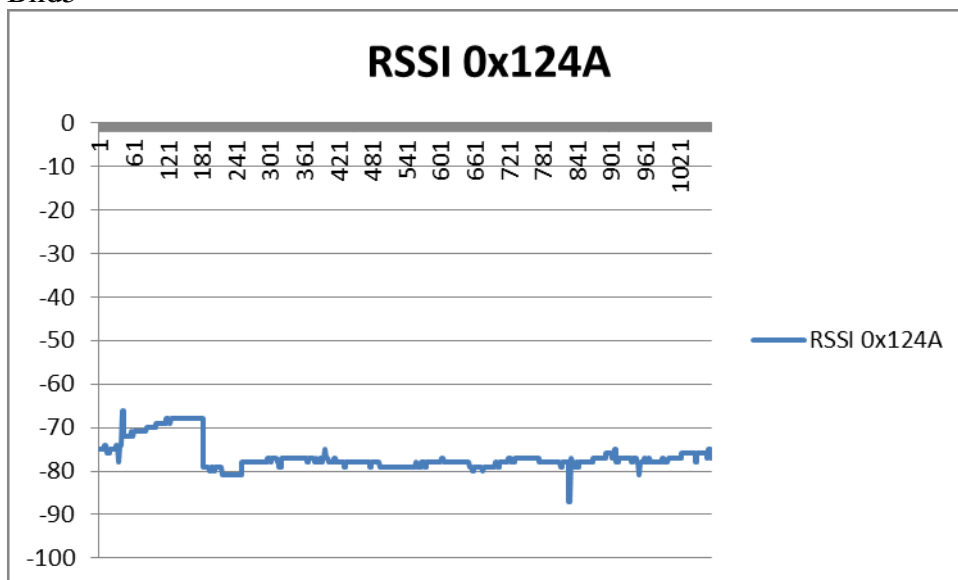


Bild6

3.3 Tagg 0x124B

Denna tagg är identisk med föregående 0x124A skillnaden ligger i monteringen då den sitter mitt i betongen. Bild7 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild8 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -60dBm för att efter ingjutning falla till cirka -80dBm, en försämring på 20dBm. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan tvärt från cirka -80dBm till -95dBm.



Bild7

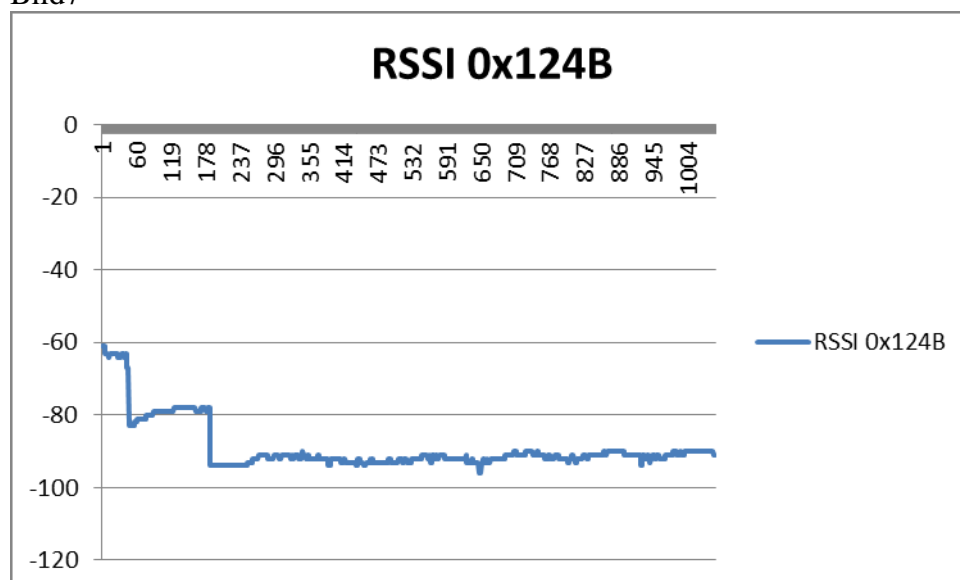


Bild8

3.4 Tagg 0x124C

Denna tagg använder sig av en vanlig ”gummipinne” som troligen är den vanligaste typen av antenn för dessa frekvenser. På denna tagg är antennen monterat externt så den har direkt kontakt med omgivande betong. Bild9 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild10 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -35dBm för att efter ingjutning falla till cirka -80dBm, en försämring på 45dBm. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan tvärt från cirka -77dBm till -86dBm.



Bild9

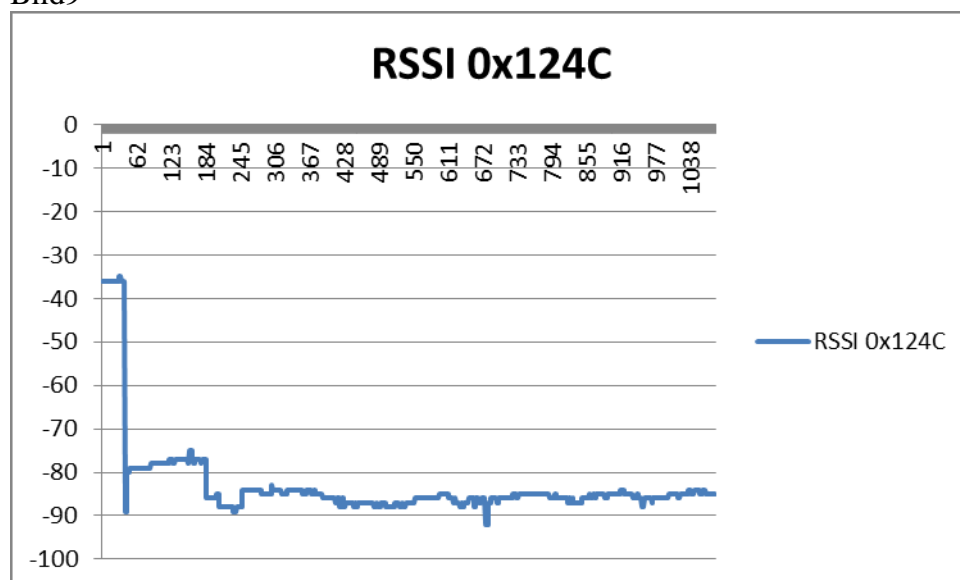


Bild10

3.5 Tagg 0x124D

Denna tagg använder sig av en likadan antenn som 0x124C men på denna tagg är antennen monterat internt så den inte har direkt kontakt med omgivande betong. Bild11 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild12 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -70dBm för att efter ingjutning falla till cirka -85dBm, en försämring på 15dBm.

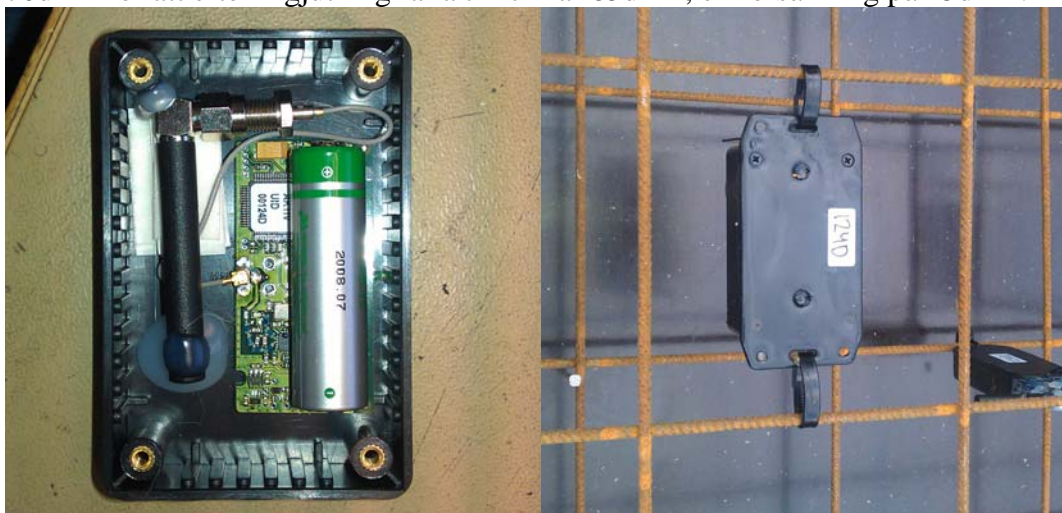


Bild11

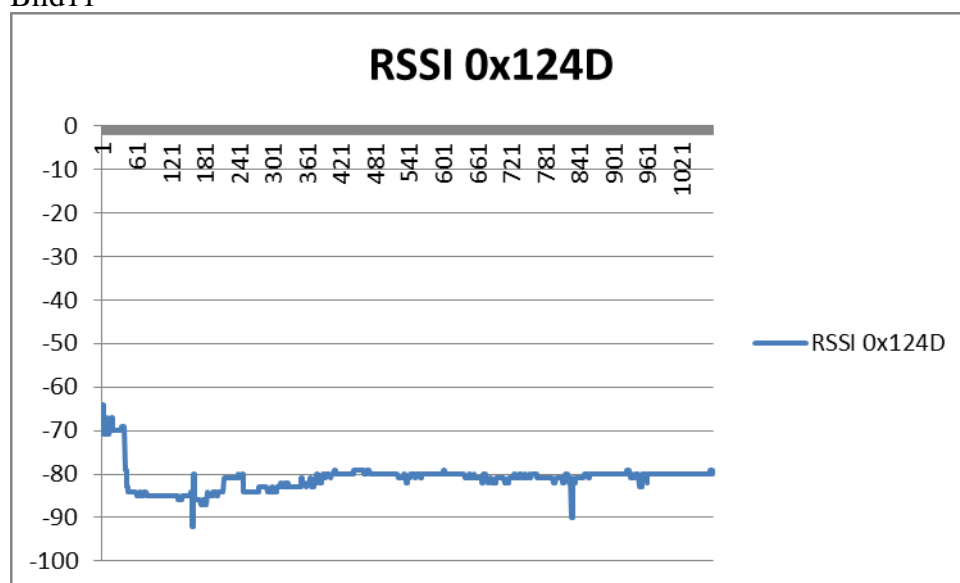


Bild12

3.6 Tagg 0x124E

Denna tagg är identisk med föregående 0x124C skillnaden ligger i monteringen då den sitter mitt i betongen. Bild13 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild14 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -35dBm för att efter ingjutning falla till cirka -90dBm, en försämring på 55dBm. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan tvärt från cirka -85dBm till -98dBm.



Bild13

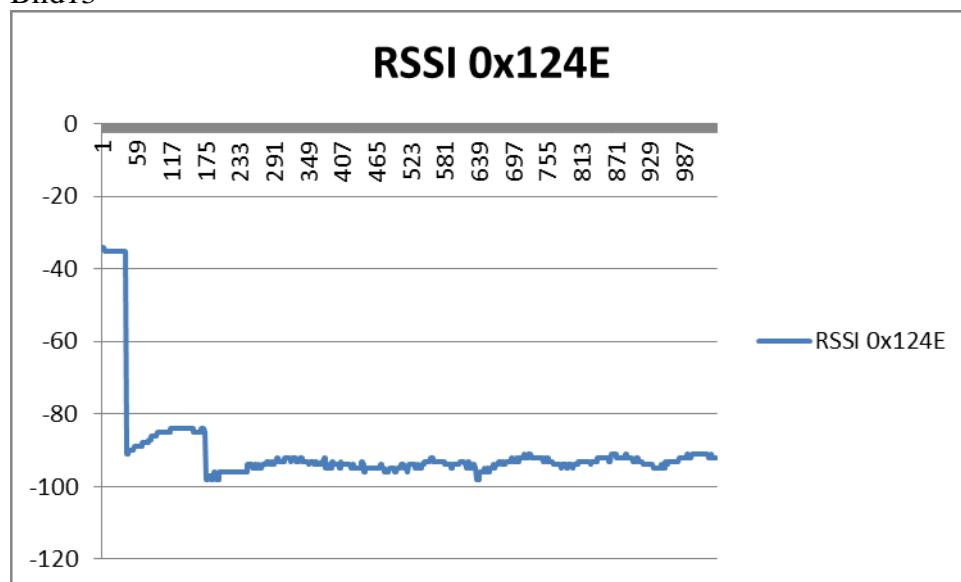


Bild14

3.7 Tagg 0x124F

Denna tagg använder sig av en likadan antenn som 0x124D men på denna tagg är interna antennen försedd med ett jordplan som denna typ av antenn kräver för god funktion. Bild15 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild16 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -62dBm för att efter ingjutning falla till cirka -77dBm, en försämring på 15dBm. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan stegvis från cirka -72dBm till -98dBm.

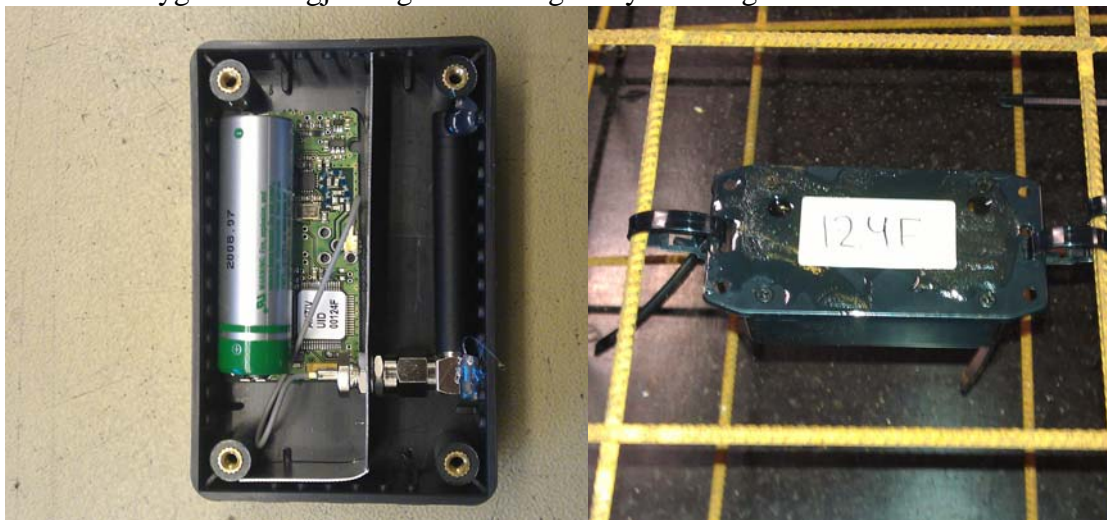


Bild15

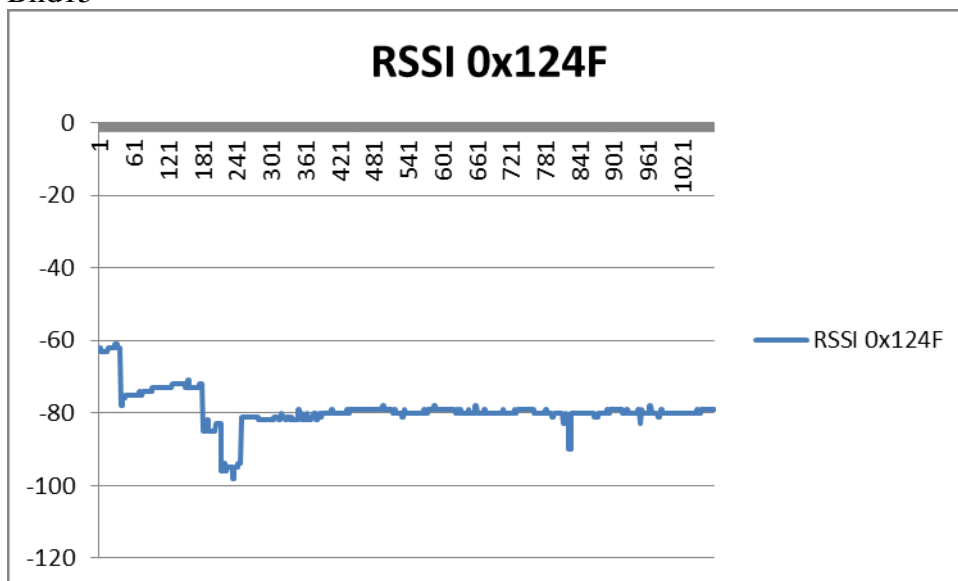


Bild16

3.8 Tagg 0x1250

Denna tagg använder sig av en antenn tänkt för montage på biltak. Bild17 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild18 visar signalstyrkan som innan ingjutning låg på cirka -55dBm för att efter ingjutning falla till cirka -70dBm, en försämring på 15dBm. Nästan ett dygn efter ingjutningen faller signalstyrkan tvärt från cirka -70dBm till -80dBm.



Bild17

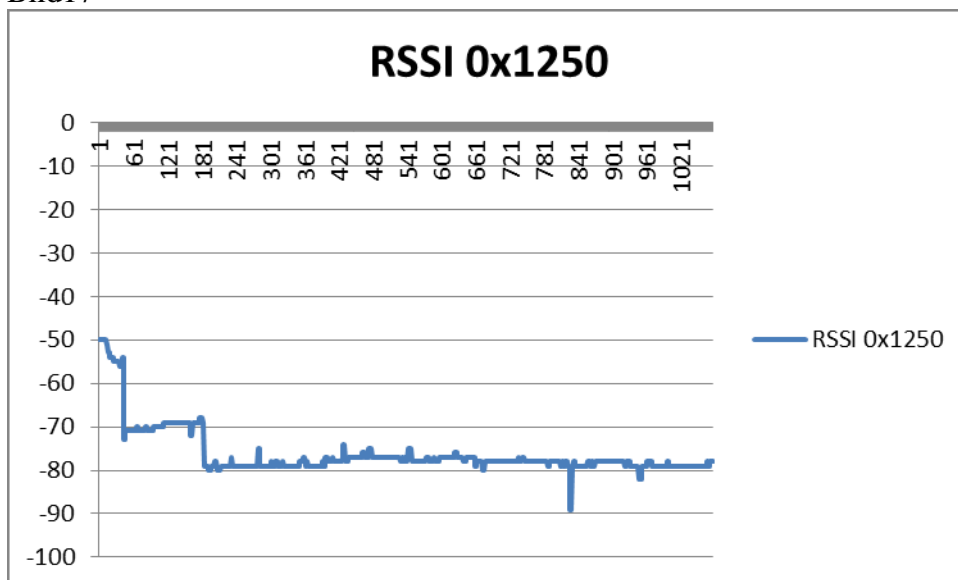


Bild18

3.9 Tagg 0x1253

Denna tagg är identisk med föregående 0x124A samt 0x124B och skillnaden är att den är monterat utanför betongen på en pinne som sticker upp cirka 30cm från formen. Syftet är att få en referens för radio utan påverkan av betong för att kunna se om det finns några yttre faktorer som påverkar signalstyrkan. Bild19 nedan visar denna tagg innan ingjutning och bild20 visar signalstyrkan. Signalstyrkan ligger relativt stabilt på cirka -64dBm både innan och efter gjutningen. Dock faller signalstyrkan tvärt från -64dBm till -77dBm cirka ett dygn efter gjutningen och när därefter aldrig över -70dBm.



Bild19

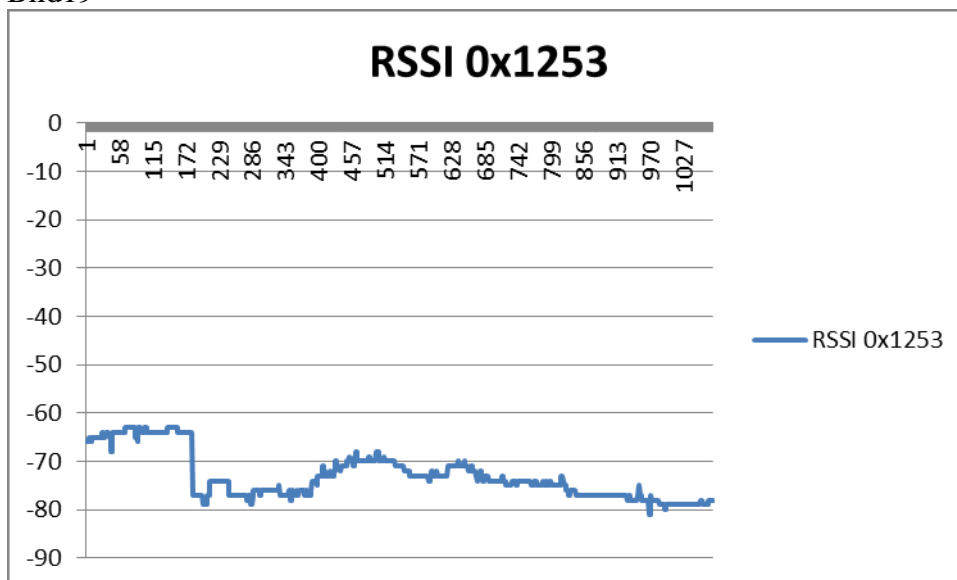


Bild20

3.10 Uppmätt temperatur

Nedan i bild21 visas uppmätt temperatur från sex av de mätande taggarna. Betongen är tillsatt vid sample 450. Den första låga temperaturen under 280K är utomhustemperaturen under natten och den första stigande flanken till cirka 295K är när solen började lysa på formen med taggarna utan betong. Den andra stigande flanken vid sample 450 där temperaturen först går över 300K är när betongen är tillsatt. Tidpunkt för detta är 2012-06-28 15:30. Tiden mellan varje sample är 5 minuter. Mätningen är avslutad 2012-08-14 13:40.

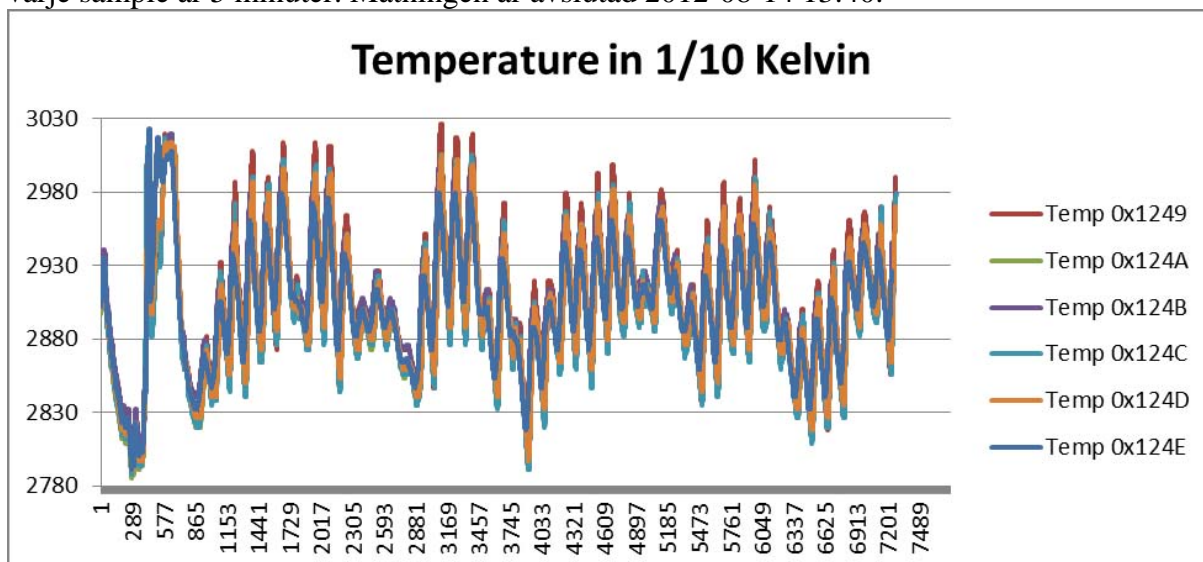


Bild21.

Temperatursensorerna som är använda har en absolut precision på cirka +2 grader, detta är dock något som vid behov kraftig går att förbättra i framtida hårdvara. Detta relativt stora mätfel döljer troligen att de taggar som sitter nära ytan i större grad påverkas av omgivande temperatur medan de längre in i i betongen påverkas mindre.

4 RESULTAT

Sammantaget så har testat gått bra då vi på 25m avstånd med 10mW effekt under två månader loggat temperaturen i betonggjutningen utan att tappa något data från någon av de mätande taggarna. På samtliga mätande taggar har elektroniken och visa fall antennen varit ingjuten i en gjutmassa för elektronik.

De antennlösningar som varit korrekt avstämd innan ingjutning har tappat mellan 30-45dBm i signalstyrka och det är i vissa fall en väldigt liten marginal på radions signalstyrka. De som redan vid ingjutning med gjutmassa fått sin antenn påverkad uppvisar inte lika stor försämring då betongen tillförs då antennerna på dessa enheter redan är påverkade och felaktigt avstämda. Gränsen för funktion går vi cirka -100dBm och man ser att vissa taggar tidvis har buffrat upp mätdata då dom haft problem att kommunicera med basenheten, dock utan att tappa något mätdata. Detta syns tydligt på till exempel 0x124B som inte får över data på cirka 12 timmar efter att den tappat i signalstyrka cirka ett dygn efter betonggjutning.

Betongen tillfördes till formen 2012-06-28 15:30 och här ser man som förväntat ett tapp i signalstyrka på i princip samtliga taggar förutom referenstaggen som inte påverkas. Dock finns det på samtliga taggar inklusive referenstaggen ett fall i signalstyrka 2012-06-29 14:12 som vi i dagsläget inte kan förklara på annat sätt än att något i omgivningen har förändrats alternativt att något har hänt med basenheten vid denna tidpunkt.

En viktig iakttagelse är signalstyrkan inte verkar påverkas nämnvärt under tiden betongens torkprocess.

5 SLUTSATS

Slutsatsen från detta test är att det i högsta grad verkar vara fullt möjligt att logga temperaturen med denna utrustning. Redan räckvidden 25m kan i många fall troligen vara tillräckligt.

Vi ser dock en stor potential till förbättring genom att finslipa på antennlösningen. Planen för nästa test är att dels gjuta in en antenn i gjutmassa och få den rätt avstämd i sin kapsling innan ingjutning. Vi förväntar oss då en relativt liten påverkan av omgivande betong.

Det andra spåret är att avstämna en antenn av typ gummipinne för att sitta i direkt kontakt med betongen och då alltså väldigt fel avstämd för luft. Troligen kan dock räckvidden i luft med felaktig antenn bli ungefär denna samma som räckvidden i betong med en korrekt antenn.

Vi hoppas med en förbättrad antenn i alla fall kunna nå räckvidder på över 100m med samma utrustning som i detta test.

Utöver detta kommer vi förutom samma utrustning som i detta test i nästa test även att nyttja en tagg med en förstärkare som ökar uteffekten från 10dBm (10mW) till 27dBm (500mW). Denna förstärkare innehåller även en förförstärkare för mottagningen som ska förbättra känsligheten med 6dBm. Man bör alltså kunna få en total förbättring på länkbudget med 23dBm. Det skulle i teorin innebära en räckvidd som är runt 16 gånger längre, dvs samma funktion på 400m som vi i detta test sett på 25m.

I kombination med förbättrad antenn kan det visa sig onödigt med en förstärkare av denna typ alternativt att man väljer att endast använda den i basenheten då det medför ökade kostnader både för själva radion men även för batterilösningen i taggarna.