

Sambandet mellan radarsignaler och fukthalt i en lättbetongkonstruktion

Jennifer Gellerstedt & Simon Westman

2017



Examensarbete, Grundnivå (högskoleexamen), 15 hp
Byggnadsteknik
Byggnadsingenjör

Handledare: Jan Akander
Examinator: Johan Norén

Omslagsbild: Lättbetongvägg med radarutrustning. Foto: Simon Westman, 2017.

Sammanfattning

Fukt i byggnader är vanligt och kan leda till skador. Fukten kan ge upphov till mögel och röta, vilket inte är bra för människors hälsa. Fukten kan också påverka olika egenskaper hos byggnadsmaterialen såsom hållfasthet, värmeisoleringsförmåga och ge dimensionsförändringar. Eftersom höga fukthalter kan ha en stor påverkan på materialen är det viktigt att upptäcka och fastställa problemet i ett tidigt skede. Syfte och mål med den här rapporten är att se om det finns ett samband mellan radarsignaler och fukthalt och avgöra om radarteknik är en användbar metod för att mäta fukthalt i ett byggnadselement.

I det här arbetet har litteraturstudier, mätningar och analyser gjorts. Materialet som använts är lättbetong som byggts upp till fyra väggar i två olika tjocklekar, två stora och två små väggar. De stora test-väggarna användes för radarmätningar och de små som prov-väggar till den gravimetriska metoden. Väggarna byggdes upp i ett tält där relativa luftfuktigheten (RF) och temperatur kunde styras. I början av experimentet var RF i tältet inställt på 98-99 % och temperaturen på 22 °C som därefter reglerats för att torka ut väggarna. Mätningar har utförts med radar och den gravimetriska metoden parallellt, där den sistnämnda gjorts genom att väga prov-väggarnas lättbetongblock vid samma tillfällen som radarmätningarna. Prov-väggarnas lättbetongblock torkades därefter i torkningsugn i 105 °C för att fastställa dess torrdensitet. Insamlade data från radarmätningarna har bearbetats av Radarbolagets personal. Resultaten för de olika metoderna har därefter analyserats och jämförts för att se om det finns ett samband.

Resultaten från studien visar att det finns ett samband mellan fukthalt och signalerna från radarmätningarna. Fukthalten kan bestämmas på en lättbetongvägg med en felmarginal på $\pm 4 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{m}^3_{\text{material}}$, vilket motsvarar cirka 4 %. Det går att få ett bra resultat med radarmätning, metoden är däremot komplicerad men det kan finnas värde för fortsatta studier på flerskiktade konstruktioner för att avgöra om tekniken kan vara användbar för befintliga byggnadskonstruktioner.

Nyckelord: Fukthalt, radar, gravimetrisk metod, lättbetong

Abstract

Moisture in buildings is common and can lead to damage. The moisture can cause mold and rot, which is not good for human health. The moisture can also affect different properties of the building materials such as strength, thermal insulation and dimensional changes. Because high moisture levels can have a major impact on the materials, it is important to detect and fix the problem at an early stage. The purpose and aim of this report is to see if there is a correlation between radar and moisture content and determine whether radar technology is a useful method of measuring moisture content in a building element.

In this work, literature studies, measurements and analyzes have been made. The material used is lightweight concrete that is built up to four walls in two different thicknesses, two large and two small walls. The large test-walls were used for radar measurements and the small ones as sample-walls for the gravimetric method. The walls were built in a tent where relative humidity (RH) and temperature could be controlled. At the beginning of the experiment, the RH in the tent was set to 98-99 % and the temperature of 22 °C, which was then regulated to dry out the walls. Measurements have been made with radar and the gravimetric method in parallel, where the latter was made by weighing the sample-walls light concrete blocks at the same time as the radar measurements. The blocks of the sample walls were then dried in an oven at 105 °C to determine drydensity. The collected data from the radar measurements have been processed by the Radarbolaget's personnel. The results for the different methods have then been analyzed and compared to see if there is a relationship.

The results from the study show that there is a connection between moisture content and the signals from the radar measurements. The moisture content can be determined on a light concrete wall with a margin of error of $\pm 4 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{m}^3_{\text{material}}$, which corresponds to about 4 %. It is possible to get a good result with radar measurement. However, the method is complicated, but there may be value for further studies on multilayered structures to determine whether the technology can be useful for existing building constructions.

Keywords: Moisture content, radar, gravimetric method, lightweight concrete

Förord

Detta examensarbete med en omfattning på 15 hp är den avslutande delen på byggnadsingenjörsprogrammet med inriktning arkitektur och miljö (180 hp) på Högskolan i Gävle. Arbetet, har pågått under tio veckor på laboratoriet Heimdall som tillhör Högskolan i Gävle och innefattar fukthaltsmätning på lättbetongväggar med hjälp av radar.

Vi vill rikta ett stort tack till Daniel Andersson på Radarbolaget AB som har kommit med idén och bistått med sin expertis inom radarteknik och hans behjälplighet under arbetets gång. Tack också till Radarbolaget AB som tillhandahållit utrustning till experimentet. Ett stort tack även till Thomas Carlsson och Ola Jeppsson för hjälp vid tillverkning av formar och stativ till experimentuppställningen. Vi vill dessutom rikta ett tack till vår handledare Jan Akander för vägledning och stöd under arbetets gång.

Gävle, maj 2017

Jennifer Gellerstedt och Simon Westman

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål.....	2
1.3 Avgränsning	2
1.4 Målgrupp	2
2. Teori	3
2.1 Fukt.....	3
2.1.1 Fuktrelaterade begrepp	3
2.1.2 Fuktkällor	4
2.1.3 Fukttupptagning.....	4
2.2 Fuktens påverkan på materialet	5
2.2.1 Hållfasthet.....	5
2.2.2 Värmeisoleringsförmåga	5
2.2.3 Frostsprängning	5
2.2.4 Rostsprängning	5
2.2.5 Saltutfällning och saltsprängning	5
2.2.6 Mögel och röta i trä	6
2.2.7 Missfärgning.....	6
2.2.8 Svällning och krympning	6
2.3 Fuktmätningmetoder	7
2.3.1 Gravimetrisk metod	7
2.3.2 Kalciumkarbid-metoden	7
2.3.3 Borrhålmätning (RF-mätning)	7
2.3.4 Mikrovågsteknik.....	8
2.3.5 Resistansmätning.....	9
2.3.6 Termografering.....	9
2.4 Radar.....	9
3. Metod.....	10
3.1 Materialval - Lättbetong	10
3.2 Val av mätmetod för referensmätning.....	10
3.3 Försöksuppställning.....	11
3.4 Utförande.....	11
4. Genomförande	12
4.1 Litteratursökning	12
4.2 Förberedelse	12
4.3 Experimentuppställning.....	13
4.4 Mätning av lättbetongväggar	14
4.4.1 Radarmätning	14
4.4.2 Vägning av lättbetongblock.....	16
4.5 Beräknad torrsvikt.....	17
4.6 Fastställning av torrsvikt och torrdensitet.....	17
4.7 Analys av mätresultat	18
5. Resultat	19
5.1 Beräknad torrsvikt.....	19
5.2 Empirisk torrsvikt och torrdensitet.....	19
5.3 Fukthalt.....	20
5.4 Radarmätning	20

5.5 Korrelation.....	22
6. Diskussion och slutsats.....	23
6.1 Lättbetongblockens densitet	23
6.2 Radarmätningens felkällor.....	23
6.3 Tolkning av resultat	24
6.4 Slutsats.....	24
7. Referenser.....	26
Bilagor	28

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Höga fuktnivåer i byggnader och byggnadsmaterial är vanligt förekommande och kan leda till skador. Enligt Sandin (2010) beror mer än 80 % av byggnadsskador på grund av fukt. Höga fukthalter kan leda till mögel och röta vilket orsakar fuktskador. Detta är inte bra för människors hälsa och kan leda till olika allergier och sjukdomar. Andra negativa effekter av fukt i byggnadsmaterial är att det påverkar materialens egenskaper, bland annat hållfasthet, värmeisoleringsförmåga och dimensionsförändringar. (Sandin, 2010) Höga fukthalter orsakar också missfärgning på ytskikt. (Fuktsäkra byggnader, u.å.b) Därför är det viktigt att i ett tidigt skede kunna upptäcka och fastställa orsaken till problemet - hög fukthalt i byggnadskonstruktioner.

Uppkomsten av fukt i konstruktioner beror på olika källor. En av orsakerna kan vara från nederbörd, alltså regn och snö som träffar byggnaden. Särskilt viktigt är det att skydda byggnaden från slagregn som är en kombination av regn och vind (Fuktsäkra byggnader, u.å.a). Men det är inte bara nederbörd som kan vara orsaken till höga fukthalter i byggnader utan också den fukt som finns i luften eftersom den alltid innehåller en viss mängd ånga. Mängden ånga kan skilja sig beroende på årstid, till exempel innehåller uteluften mer ånga på sommaren än på vintern (Fuktsäkra byggnader, u.å.a). Byggfukt kan också vara en orsak eftersom vid tillverkning av vissa material tillsätts en viss mängd fukt. Även den fukt som finns i marken kan bidra med fukt till byggnaden. Alltså finns det flera olika orsaker till att en konstruktion blir fuktig och det är därför viktigt att ta reda på vad som ger upphov till fukten för att kunna skydda byggnaden på rätt sätt.

Förhöjda fuktnivåer, vilka i sin tur kan leda till fuktproblem, kan identifieras med hjälp av olika fuktmätningmetoder, dessa kan vara förstörande och icke-förstörande av den konstruktion som ska undersökas. Mätnoggrannheten kan också variera beroende på vilken metod som används där de förstörande metoderna oftast ger ett mer exakt resultat. De förstörande metoderna innebär att en del av konstruktionen förstörs genom att ta provbitar eller borra hål i dessa. Av denna anledning finns intresse för fältmätningmetoder vilka är tillförlitliga men som inte innebär åverkan på konstruktionen. Radarbolaget AB i Gävle har tidigare använt radarteknik för att kvalitativt mäta fukttinnehållet hos eldningsflis. Mätningen utförs genom att lastbilen passerar



Figur 1. Lastbil som passerar mellan radarantennerna. Källa: Skogforsk (2016b)

mätinstrumenten (se figur 1) och hela lastens fukttinnehåll kan fastställas. Tekniken, med en mät noggrannhet på $\pm 3\%$ -enheter, kan mäta hela massan vilket gör att felmarginalerna som uppstår vid mätning av provbitar försvinner (Skogforsk, 2016a). Eftersom Radarbolaget ABs metod att mäta fukt med radarteknik inte har testats på byggnadskonstruktioner ska ett laboratorieexperiment utföras.

1.2 Syfte och mål

Syftet är analysera om det finns ett samband mellan radarsignaler och fukthalt.

Målet är att avgöra om radarteknik är en användbar metod för att mäta fukthalt i ett byggnadselement och göra en avvägning om det finns värde i att göra fler studier för flerskiktade konstruktioner.

1.3 Avgränsning

Avgränsningarna för studien är att radartekniken och hur den fungerar rent teoretisk inte kommer beskrivas eller analyseras på någon djupare nivå. Analys av radarvågor görs av Radarbolaget AB.

1.4 Målgrupp

Experimentet utförs tillsammans med Radarbolaget AB, deras önskemål är att undersöka möjligheterna att använda radarteknik för att fastställa fukthalt i befintliga byggnadskonstruktioner. Målgruppen är de som kan dra nytta av tekniken om den visar sig användbar, t.ex. besiktningsmän, försäkringsbolag, fastighetsägare, etc.

2. Teori

2.1 Fukt

2.1.1 Fuktrelaterade begrepp

Fukthalt (w) anger massa fritt vatten per volymenhet material i kg/m^3 .

Fuktkvot (u) anger massa fritt vatten i förhållande till mängden torrt material i kg/kg , ofta anges fuktkvoten i viktprocent. För att räkna om fuktkvot till fukthalt multipliceras fuktkvoten med torrdensiteten.

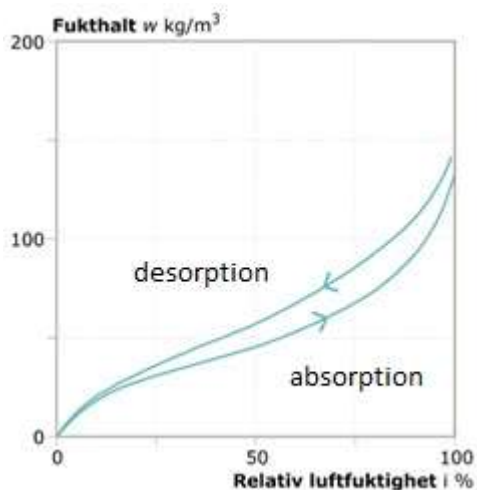
Ånghalt (v) anger massa vattenånga per kubikmeter luft, kg/m^3 .

Mättnadsånghalt (v_s) anger den maximala massa vattenånga som luften kan innehålla vid en viss temperatur, kg/m^3 .

Relativ luftfuktighet (RF) är luftens fuktighet uttryckt i procent och är kvoten mellan ånghalten och mättnadsånghalten.

Diffusion är fukttransport i ångfas. Vattenånga vill reducera koncentrationsskillnader som uppstår vid varierande ånghalter, därför uppstår fukttransporter från områden med hög ånghalt till de med lägre ånghalt.

Sorptionskurva (figur 2) anger sambandet mellan RF i luften och fukthalten för ett material. Genom att känna till omgivningens RF och att det råder jämvikt mellan luften och materialet kan fukthalten avläsas beroende på om materialet torkar ut (desorption) eller om det uppfuktas (absorption).



Figur 2. Sorptionskurva. Källa: Nevander och Elmarsson (2006).

2.1.2 Fuktkällor

Byggnader och byggnadsmaterial kan tillföras fukt från olika källor. De fuktkällor som finns är från luften, vid byggnationen i form av byggfukt, från nederbörd och från marken. Luften innehåller alltid en viss mängd vattenånga, ånghalten. Vid en viss temperatur kan luften innehålla en viss mängd vattenånga, mättnadsånghalten. Eftersom mättnadsånghalten är temperaturberoende innebär det att ju högre temperatur desto högre mättnadsånghalt. Om temperaturen sänks så mättnadsånghalten blir lägre än luftens ånghalt, måste en del av vattenångan avlägsnas vilket sker genom kondens. Byggfukt är den fukt som uppkommer vid tillsättning av vatten under byggtiden, till exempel vid gjutning av betong. (Sandin, 2010) Fukten avges till omgivningen genom diffusion från materialets inre till ytan (Nevander & Elmarsson, 2006). Materialen kan också tillsättas fukt från regn om de skyddas dåligt på arbetsplatsen eller om det krävs eftervattning för att materialet ska härda ordentligt. Ytterligare en fuktkälla är nederbörd som kan tillföra byggnaden en stor mängd fukt. Regnet träffar både de horisontella och vertikala ytorna, där de sistnämnda påverkas av slagregn. Slagregn uppstår när det blåser och regnar samtidigt och vattendropparna faller snett. Fukt från marken, så kallad markfukt kan också tillföras en byggnad. Till markfukt hör all fukt som finns i marken och kan utsätta en byggnad för fukt via till exempel kapillär uppsugning av vatten. (Sandin, 2010)

2.1.3 Fukttupptagning

Ett material upptar eller avger vatten till och från omgivningen genom absorption (uppfuktning) eller desorption (uttorkning) (Sandin, 2010). Materialet kan avge lika mycket vatten som det upptar, materialet befinner sig då i jämvikt med omgivningen. Beroende på omgivningen kring ett material påverkas hastigheten och mängden vatten som ett material upptar eller avger. För material som är i kontakt med fuktig luft är det dess hygroskopiska egenskaper som avgör hur mycket fukt som samlas i materialet, d.v.s. materialets förmåga att ta upp vatten ur luften, trä har till exempel tre gånger så hög hygroskopisk fukthalt som lättbetong. (Nevander & Elmarsson, 2006)

Andelen fukt i material som är i kontakt med fritt vatten beror på den kapillärsugande förmågan hos materialet där porstorleken är avgörande. Ett materials fukttinnehåll kan också påverkas om materialet är i kontakt med ett annat material, då både de kapillärsugande- och hygroskopiska egenskaperna kan ha betydelse. (Nevander & Elmarsson, 2006)

Fukttupptagning från luft och från fritt vatten skiljer sig i att materialets porer inte kommer över ca 98 % RF när materialet är i kontakt med fuktig luft under konstanta temperaturförhållanden. För att nå 100 % RF i materialet måste det stå i direkt kontakt med fritt vatten eller att vattnet i luften kondenserar i materialet till följd av temperaturskillnader. (Nevander & Elmarsson, 2006)

2.2 Fuktens påverkan på materialet

Olika material reagerar på olika sätt när de kommer i kontakt eller vistas i förhöjt RF. Materialets förmåga att binda till sig fukt beror enligt Nevander och Elmarsson (2006) "på porositet, porstorleksfördelning, struktur och kemisk uppbyggnad" (s. 36).

2.2.1 Hållfasthet

Hållfastheten i betong påverkas av ogynnsamma fuktförhållanden eftersom fukthalten minskar betongens elasticitetsmodul. Samtidigt är elasticitetsmodulen 30 procent högre för fullmättad betong jämfört med helt uttorkad betong. (Bao Dong, Lin, Peng Fei & Wen Juan, 2014) Att fukthalten har inverkan på hållfastheten bekräftas av Chen, Huang och Zhou (2012) som har utfört en studie på tryck- och draghållfasthet för cylindriska provbitar av betong. Chen et al. (2012) säger att ökad fukthalt har stor negativ påverkan på tryckhållfastheten men att draghållfastheten påverkas mindre av en ökad fukthalt. För tryckhållfastheten minskar hållfastheten ju högre fukthalt betongen innehåller, men när proverna är nästan mättade ökar hållfastheten igen. Även Shoukry, William, Downie och Riad (2011) hävdar att tryck- och draghållfastheten för betong minskar med ökad fukthalt.

2.2.2 Värmeisoleringsförmåga

Enligt Koci et al. (2017) påverkar fukten byggnadsmaterialens värmeledningsförmåga och specifika värmekapacitet. Författarna genomförde en studie på lättbetong, högrepresterande betong och tegel där de kom fram till att materialen påverkas av fukthalten då värmeledningsförmågan och specifika värmekapaciteten ökar. Studien visar också att fukten påverkar energibalansen negativt. (Koci et al. 2017)

2.2.3 Frostsprängning

Porösa material kan angripas av frostsprängning, som uppstår när vattnet i materialet fryser. När vattnet fryser medför det en volymökning på 9 %, vilket kan göra att materialet sprängs sönder. Om materialets porer är helt vattenfyllda och det utsätts för frost sker nästan alltid frostsprängning. Vattnet behöver därför ha utrymme att utvidga sig vilket det får om materialet innehåller luft. (Burström, 2007)

2.2.4 Rostsprängning

Metaller och legeringar kan utsättas för elektrokemiska reaktioner mellan materialet och dess omgivning, vilket visar sig genom korrosion. Rosten som bildas har en större volym än motsvarande mängd järn och kan därför orsaka skador som till exempel spjälkning av betong kring armeringsstänger, så kallad rostsprängning. (Burström, 2007)

2.2.5 Saltutfällning och saltsprängning

Ett annat fysikaliskt angrepp material kan utsättas för är saltsprängning. När ett material torkar kan salter följa med vattnet till ytan som sedan kristalliseras när vattnet avdunstar. Detta kan medföra saltutslag om saltet följer med ända till ytan, vilket är

ofarligt då det endast påverkar estetiskt. Däremot om saltet kristalliseras i porerna kan det leda till saltsprängning. (Burström, 2007)

2.2.6 Mögel och röta i trä

Träprodukter som exponeras för förhöjt RF eller håller förhöjd fuktkvot under längre tid riskerar att utveckla mögel och röta. Mögel medför elak lukt som sätter sig i hår och kläder, möglet kan också leda till hälsoproblem som t ex allergier, illamående, astma, klåda och allmän trötthet. Mögelsvampar och blånad medför missfärgningar men ingen förstörelse av vedcellerna vilket däremot rötsvampen gör. Nedbrytning av vedceller leder till försämrad beständighet, minskad hållfasthet och ökad deformation. (Nevander & Elmarsson, 2006) Tabell 1 visar kritiska fuktillstånd för uppkomst av röta och mögel på trä och träprodukter.

Tabell 1. Kritiska fuktillstånd för trä och träprodukter, vid för tillväxt gynnsam temperatur. Källa Nevander och Elmarsson (2006)

		<i>Risk</i>		
		Ingen	Liten - måttlig	Stor
<i>Röta</i>	FK [%]	<16	16 - 25	> 25
	RF [%]	<75	75 - 95	> 95
<i>Mögel</i>	FK [%]	<15	15 - 20	> 20
	RF [%]	<70	70 - 85	> 85

2.2.7 Missfärgning

Fukt kan orsaka missfärgningar på material. Dessa kan komma från läckage där ytskiktens kulör ändras med fuktillståndet, dessa fuktfläckar kan i vissa fall bli bestående. Missfärgning kan också som tidigare nämnt uppstå på grund av mikrobiologisk tillväxt. (Fuktsäkra byggnader, u.å.b) Missfärgning kan också uppstå på grund av utfällning av salter och mineraler.

2.2.8 Svällning och krympning

Olika material påverkas olika mycket vid temperatur och fuktändringar. Gemensamt för alla material är att de längdändras vid temperaturändringar. Vid ändring av fukthalt och relativ fuktighet krymper eller sväller nästan alla porösa material, vilket kan leda till sprickor, skevhet och välvning. Trämateriel krymper och sväller avsevärt mer än cementbaserade material. (Nevander & Elmarsson, 2006)

2.3 Fuktmätningmetoder

För att mäta fukt i byggnader och byggnadsmaterial finns olika metoder. Dessa anger fukthalten på olika sätt, antingen direkt eller indirekt. (Sandin, 2010). Dessutom finns det förstörande metoder där mätobjektet förstörs eller förändras, men det finns också icke-förstörande metoder. Nertill sammanfattas några av de fuktmätningmetoder som finns idag.

2.3.1 Gravimetrisk metod

En gravimetrisk metod för fastställning av fukthalt går ut på att en provbit tas ur konstruktionen, provet vägs innan det torkas i 105 °C, tills det är absolut torrt. Därefter vägs provet igen och differensen fastställer fukttinnehållet som får vara representativ för konstruktionen som provet tas ifrån. Vid uttag av prover genom borring eller sågning utvecklas värme som påverkar provbitens fukttinnehåll och ger därför ett missvisande resultat på mätningen. Den gravimetriska metoden samt kalciumkarbid-metoden (beskrivs i 2.3.2) är enligt Hola, Hola och Matkowski (2017) accepterade metoder för fastställning av fukttinnehåll. Båda metoderna förutsätter att delar av konstruktionen tas ur byggnaden för analys för att sedan fastställa fukttinnehållet. Hola et al. (2017) har i sin studie jämfört den materialförstörande metoden, vägning- torkning-vägning mot en icke-materialförstörande metod där fukthalten mäts med en dielektrisk mätare. Resultatet visade att den förstörande metoden gav en något högre fukthalt i väggen än vad den icke-förstörande metoden gjorde, den förstörande metoden kunde också ge fukthalten i väggens hela tjocklek medan dielektriska mätaren bara nådde 100 mm in i konstruktionen. Hola et al. (2017) skriver i sin slutsats att förstörande metoder bör begränsas när det kommer till fukthaltsmätning av historiska byggnader. Enligt Kääriäinen, Rudolph, Schaurich, Tulla och Wiggenhauser (2001) är gravimetriska metoden den vanligaste och mest exakta metoden för att bestämma fukthalten.

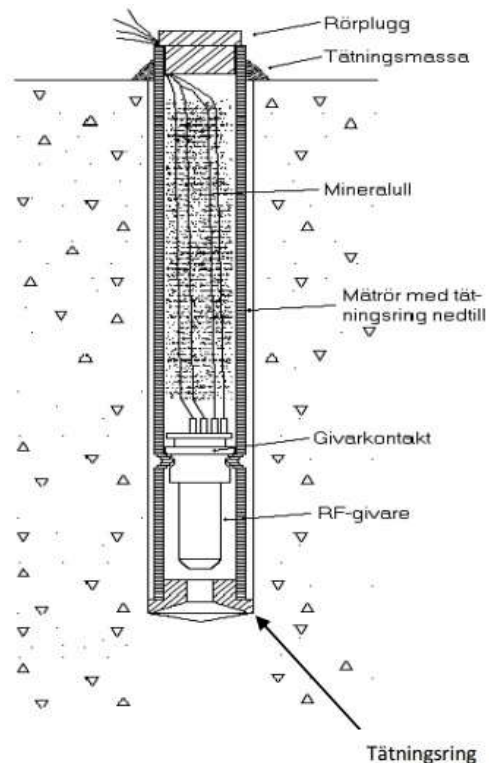
2.3.2 Kalciumkarbid-metoden

För att mäta fukt i material finns det bland annat kemiska metoder, där den vanligaste är kalciumkarbid-metoden. Vid mätningen vägs först en mängd av provet upp för att sedan placeras i en gastät flaska med några stålkulor och en glasampull med kalcium-karbid. Flaskan skakas därefter tills glasampullen krossats, vilket gör att kalciumkarbiden reagerar med vattnet i provet varvid en gas bildas. Gasen som bildas ger upphov till övertryck i flaskan som är proportionellt med vattnet i flaskan. Därefter kan övertrycket avläsas på en manometer och fuktkvoten via en tabell. Metoden är mest lämplig för kornformiga material såsom sand och grus, men kan även tillämpas på porösa material men först efter att de krossats till mjöl. En nackdel med detta är att vid krossningen kan en del fukt försvinna. (Sandin, 2010)

2.3.3 Borrhålmätning (RF-mätning)

En vanligt förekommande metod för mätning av fukthalt i konstruktioner är att använda någon form av fuktgivare som monteras i konstruktionen efter borring. Innan

fuktgivaren kan monteras måste borrhålet tätas med ett mätrör som också ska täthetsprovats, vid godkänt prov tätas anslutningen mellan konstruktionen och röret med tätningsmassa och röret tätas upptill med en rörplugg. Givaren monteras i röret där luften, som står i jämvikt med materialets RF, mäts, se figur 3. Det finns olika typer av givare som kan användas vid borrhålmätning, gemensamt för att de ska ge ett godtyckligt mätresultat ligger i noggrannheten i de förberedande momenten: borrhjup, rengöring, yttre påverkan, etc., där små differenser ger stora utslag och mätningen blir missvisande av relativa fukthalten. (Rådet för byggkompetens, 2017) Problemet med borrhålmätning, förutom att metoden är förstörande av materialet, är också att fukthalten minskar till följd av värmeutvecklingen som blir utav borringen, vilket påverkar mätningarna och ger en missvisande bild av fukthalten i konstruktionen. Metoden är också missvisande i att den bara ger information från den exakta positionen som mätsonden sitter i, vilket leder till att fler borrhål måste göras för att hela konstruktionens fukthalt ska kunna fastställas. (Sass & Viles 2006)



Figur 3. Montage av plaströr och RF-givare för mätning i borrhål. Källa: Rådet för byggkompetens (2017)

2.3.4 Mikrovågsteknik

Fukthaltsmätning med mikrovågsteknik kan användas på olika sätt. Grundprincipen är att mikrovågor får passera genom konstruktionen och den insamlade informationen påverkas av motståndet, det vill säga fukttinnehållet. Insamlade data behöver sedan behandlas i beräkningsprogram för att slutligen ge ett svar på rådande fukttinnehåll i konstruktionen. Mikrovågstekniken har många likheter med radartekniken.

Kääriäinen et al. (2001) säger att det är de icke-förstörande eller halv-icke-förstörande metoderna som föredras vid fuktmätning, eftersom de förstörande metoderna kan bara användas i enstaka fall. Vidare säger författarna att en av de halv-icke-förstörande metoderna som kan användas är mikrovågsteknik. Metoden kan anses vara halv-förstörande då det krävs två borrhål med en diameter på 8 eller 12 mm. Vidare säger författarna att denna teknik har visat goda resultat på tegel, murbruk och sandsten. Kääriäinen et al. (2001) testar i sin studie, metoden på betong, trä, sand och dess sammansatta konstruktioner. Metoden bygger på spridning av elektromagnetiska vågor i materialen. I borrhålen placeras varsin antenn, en sändare och en mottagare varvid de elektromagnetiska vågorna passerar mellan dessa. Mellan antennerna överförs det energi som absorberas av fukten i materialet och därmed kan fukthalten beräknas utifrån

energiförlusten med hjälp av ett dataprogram. Studien med mikrovågsteknik visar att för betong ger både mikrovågstekniken och den gravimetriska metoden liknande resultat. Skillnaden mellan metoderna är att värdena från mätningen med mikrovågor är lite högre vid låga fuktnivåer och lite lägre vid höga fuktnivåer. (Kääriäinen et al., 2001) Även en studie gjord av Haddadi och Lasri (2014) visar på att mikrovågsteknik är en användbar metod för att beräkna fukthalt i betong. Denna studie skiljer sig från den tidigare beskrivna då en antenn placeras 15 cm från materialet och är därför inte förstörande. Författarna hävdar i sin studie att mätresultaten som fås med hjälp av mikrovågstekniken överensstämmer med den fukthalt som mättes upp vid vägning.

2.3.5 Resistansmätning

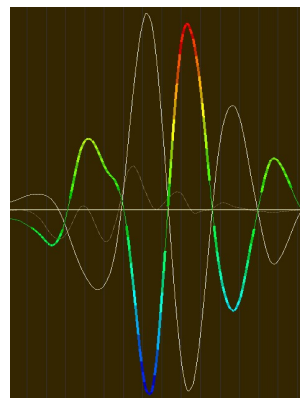
Det finns också elektriska metoder för att mäta fukthalten i ett material. Enligt Maksimović et al. (2012) är resistansmätning en icke-förstörande, snabb och enkel metod för att mäta fukthalten. Mätningen fungerar genom att alla material har elektrisk resistans som vattenhalten i materialet har en direkt inverkan på. Det innebär att ju mer fukt det finns i materialet desto mindre motstånd. Mätningen görs genom att mätningssensorer placeras i borrhål i ett material där det elektriska motståndet mäts som en funktion av den elektriska ledningsförmågan. Ett blött material har hög ledningsförmåga och lågt elektriskt motstånd. (Maksimović et al., 2012) Metoden får dock anses som halv-icke-förstörande eftersom borrhål krävs för att montera elektronerna. Phillipson et al. (2007) säger att problem med metoden kan vara att det kan finnas kontaktproblem med vissa material samt att det kan bli fel i mätningarna om det finns salt, metalliska eller magnetiska material nära mätpunkten.

2.3.6 Termografering

Termografering är en icke-förstörande metod för att mäta fukt. Via termografering kan man mäta materialets ytegenskaper för att ta reda på omfattningen av fuktproblemen. Metoden kan dock inte användas för att beräkna fukthalten eftersom IR-kameran endast ger information om vad som sker vid mätobjektets yta. (Phillipson et al., 2007)

2.4 Radar

Att använda radar för fukthaltsmätning är en relativt oprövad metod men kan liknas vid mikrovågstekniken. Radar används till avståndsbedömning med radarvågor. Tydliga kanter av vatten är lätt att identifiera då de ger extra bra signaler (Radarbolaget, u.å.). När signalen träffar ytan på ett material reflekteras en del tillbaka till sändaren och en del fortsätter genom materialet. När signalen når nästa yta reflekteras även den tillbaka genom materialet och en del fortsätter tills signalens styrka avtagit. Fukttinnehållet i materialet bromsar signalen och gör att den tar längre tid att reflektera till sändaren. Exempel på radarkurva visas i figur 4.



Figur 4. Radarkurva. Källa: Radarbolaget (u.å.)

3. Metod

3.1 Materialval - Lättbetong

Lättbetong har en låg densitet ($<500 \text{ kg/m}^3$) och stor porvolym och den hygrokopiska fukthalten är 30 kg/m^3 vid 80 % RF. Därför kan materialets volym ändras genom krympning eller svällning. Stål som används till armering i lättbetong kan korrodera, vid förhöjd RF över 60 % och vid tillgång till syre sker en elektrokemisk process - korrosion. Med en ökande RF ökar också korrosionen, men närvaro av föroreningar som svaveldioxid och klorider har en ännu större inverkan på korrosionshastigheten. (Nevander & Elmarsson, 2006) Korrosion och förändringar i lättbetongens struktur påverkar dess egenskaper för hållfasthet och värmeisoleringsförmåga som byggnadsmaterial.

Lättbetong är ett material som ofta används vid byggnation av bostadshus och offentliga byggnader tack vare dess goda isoleringsförmåga och tryckhållfasthet, låga densitet och höga brandmotstånd, Černý och Pavlik (2012). Lättbetongen var särskilt vanligt mellan 1945 till 1960-talet och är därför representativ för en stor andel av det befintliga byggnadsbeståndet. (Björk, Kallstenius och Reppen, 2013) Lättbetong är ett konstruktionsmaterial med få skikt vilket underlättar vid radarmätningen samt den gravimetriska metoden för fastställning av torrsvikt. Lättbetong innehåller även byggfukt som torkar ut med tiden.

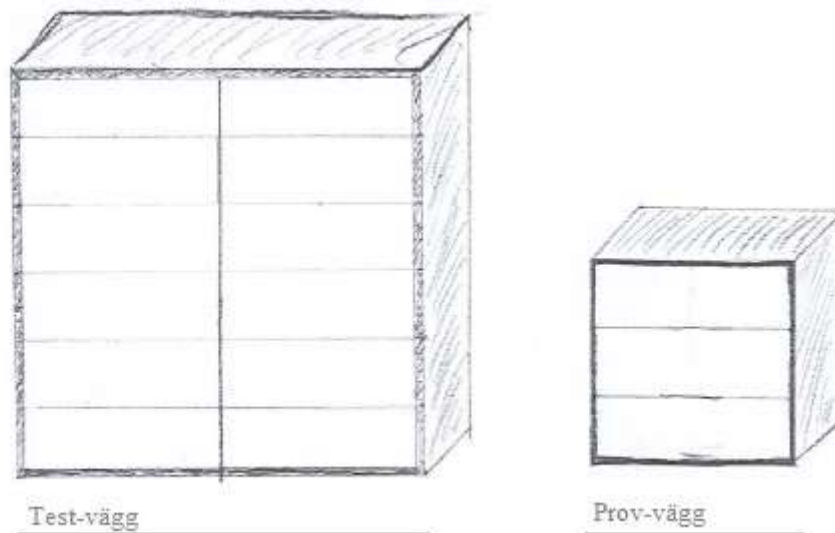
Mot denna bakgrund valdes lättbetong till experimentets utförande utifrån dess specifika egenskaper och möjligheterna till ett enkelt montage i experimentet.

3.2 Val av mätmetod för referensmätning

Val av referens metod baseras på insamlad information från litteraturstudien, se 2.3. Metoden som valts att användas är den gravimetriska metoden som enligt Kääriäinen et.al. (2001) är den vanligaste och mest exakta metoden för att bestämma fukthalten.

3.3 Försöksuppställning

Experimentet gick ut på att mäta fukthalten i två lättbetongväggar. En stor vägg mättes med radar och en liten vägg användes till den gravimetriska metoden. Den stora väggen benämns i fortsättningen som test-vägg och den lilla som prov-vägg, se figur 5. Test-väggen och prov-väggen byggdes vardera i två olika tjocklekar.



Figur 5. Skiss på lättbetongväggarnas uppbyggnad.

3.4 Utförande

Väggarna placerades i ett tält med en RF på 98-99 % och en temperatur på 22 °C. RF i tältet sänktes för att fukttinnehållet i väggarna skulle minska. Under experimentets gång har radarmätningar och den gravimetriska metoden genomförts parallellt, där den senare utförts genom att väga prov-väggens lättbetongblock. Mätningarna och vägningarna gjordes punktvis, en särskild kontinuerlig radarmätning pågick mellan mättillfällena. I slutet av experimentet torkades prov-väggarnas lättbetongblock och torrdensiteten fastställdes. Fukthalten beräknades och jämfördes mot resultatet från radarmätningarna.

4. Genomförande

4.1 Litteratursökning

Arbetet inleddes med en litteraturstudie för att söka kunskap om fukt och vilka metoder som finns för fuktmätning i konstruktioner. I litteraturstudien har vetenskapliga artiklar, rapporter och böcker använts för att ge grundläggande kunskap inom området. För att söka artiklar användes olika databaser som Högskolan i Gävle har tillgång till. De databaser som användes var Discovery, SpringerLink och ScienceDirect. För att hitta artiklar inom området användes bland annat sökord som "moisture", "moisture content", "destructive methods", "non-destructive methods" och "Concrete" i olika kombinationer. Sökningarna gav många träffar och begränsades därför till att de skulle vara "Peer Reviewed" och "full text". Artiklarna valdes därefter ut genom att läsa rubriker och sammanfattning. För fullständig litteratursökning se Bilaga 1.

4.2 Förberedelse

Lättbetongen levererades blockvis, 15 st. block med måtten: 600x200x100 mm³ och 15 st. block med måtten 600x200x200 mm³. För varje tjocklek märktes tolv block för att användas i test-väggen och tre för att användas i prov-väggen, enligt tabell 2 och 3.

Tabell 2. Individmärkning av lättbetongblock för test-väggarna.

Block	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID
100 mm	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
200 mm	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212

Tabell 3. Individmärkning av lättbetongblock till prov-väggarna.

Block	ID	ID	ID
100 mm	P11A-B	P12A-B	P13A-B
200 mm	P21A-B	P22A-B	P23A-B

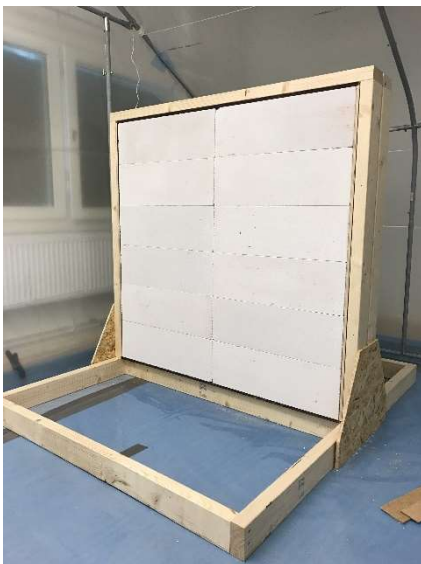
Därefter vägdes blocken och vikten noterades i ett excel-ark, se bilaga 2, för att sedan placeras på lastpallar i ett tält med RF på 98-99 % för att de skulle anta högsta möjliga fukthalt. För att alla block skulle få en så jämn fuktnivå som möjligt placerades tre block med avvikande hög fukthalt utanför tältet, där RF var 40 %. Efter den andra vägningen (20 mars) togs ytterligare ett block ur tältet eftersom dess vikt var något högre än medel men efter vägning tre (22 mars) placerades alla block i tältet. Efter vägning fyra (28 mars) konstaterades att blocken var fuktmättade och i relativ jämnvikt då medelvikten bara förändrats 30 gram för 200 mm blocken sedan vägning tre. Ytterligare en vägning (5 april) gjordes i samband med att väggarna skulle monteras. Blocken hade tappat ca 80-100 g i fukthinnehåll från vägningen den 28 mars till montaget den 5 april eftersom befuktaren stannat och RF i tältet sjunkit till ca 60 %.

4.3 Experimentuppställning

Test-vägg 1200x1200x200		Test-vägg 1200x1200x100		Prov-vägg 600x600x200	Prov-vägg 600x600x100
203	212	104	111	P23 A-B	P13 A-B
211	208	112	106	P22 A-B	P12 A-B
201	206	103	109	P21 A-B	P11 A-B
205	207	102	110		
202	204	105	107		
210	209	101	108		

Figur 6. Blockens placering i respektive vägg.

Till experimentet byggdes fyra lättbetongväggar med tjocklekarna 100- och 200 mm. För båda tjocklekarna byggdes en stor vägg med måtten 1200 x 1200 mm och en liten prov-vägg med måtten 600 x 600 mm. De stora väggarna användes till radarmätningen och blocken i de mindre väggarna användes till referensmätningen genom en gravimetrisk metod. Väggarna antogs ha samma uttorkningsförlopp och därmed samma fukttinnehåll vid varje mättillfälle. Väggarna monterades i ett diffusionstätt tält i laboratoriet där RF kunde regleras med hjälp av en befuktare och lokalens klimatanläggning. Lättbetongblocken placerades enligt figur 6 med de fyra block med störst avvikelser från medelvikten i varje hörn, blocken med id 210, 212, 101 och 104 hade lägst vikt jämfört med respektive medelvikt, blocken med id 203, 209, 108 och 111 hade högst vikt jämfört med respektive medelvikt. Eftersom inget murbruk användes byggdes väggarna med en ram av formplywood och regler för att stabilisera och för att förhindra uttorkning från kanterna, se figur 7 och 8.

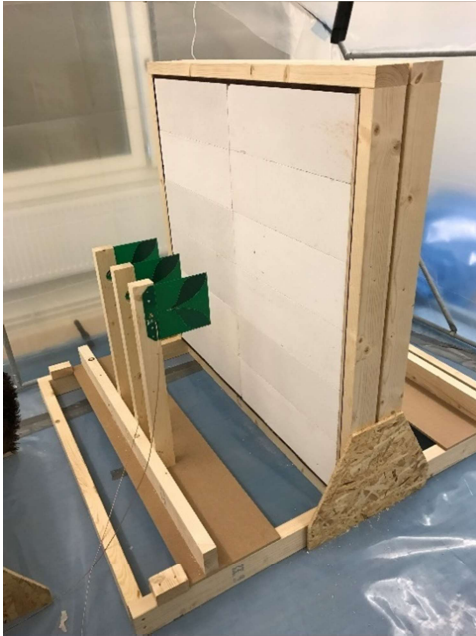


Figur 7. Test-vägg, 1200x1200x200 mm.
Foto: Simon Westman.



Figur 8. prov-vägg, 600x600x200 mm.
Foto: Simon Westman

Radaranterna monterades på stativ som var tillverkade av träreglar och MDF-skivor. Stativen var konstruerade för att flyttas mellan väggarna vid varje mättillfälle. För stativet med tre antenner monterades dessa med 200 mm mellanrum, stativen placerades på varsin sida om väggen enligt figur 9 och 10.



Figur 9. Stativ med radarantenn.
Foto: Simon Westman



Figur 10. Stativ med radarantenn.
Foto: Simon Westman.

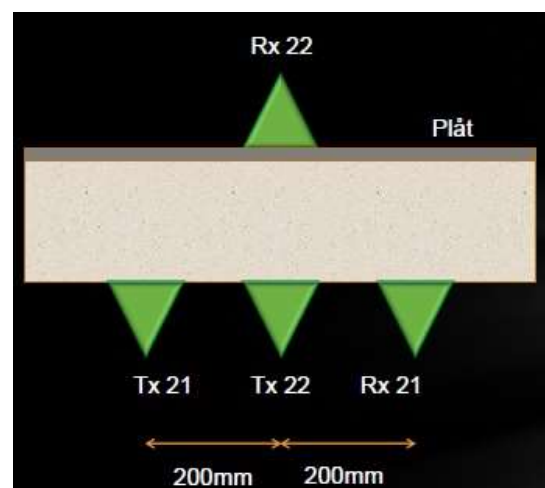
4.4 Mätning av lättbetongväggar

4.4.1 Radarmätning

Uppställningen av radarantennerna för radarmätningen såg ut enligt figur 11. Sändarna kallas Tx och mottagarna kallas Rx, antennerna monterades dikt mot väggen och vid varje mättillfälle gick signaler mellan paren:

- Tx21 – Rx22
- Tx21 – Rx21
- Tx22 – Rx21
- Tx22 – Rx22 (kontinuerlig mätning)

Signalerna visades i form av radarvågor där avståndet mellan vågorna påverkas av motståndet i väggen, vilket utgjordes av fukttinnehållet. För att tydligt markera



Figur 11. Uppställning av radarantennerna på varsin sida om väggen. Källa: Daniel Andersson, Radarbolaget AB.

väggarnas baksidor i radarmätningarna användes en plåt, eftersom den reflekterar radarvågor. Plåten användes vid mätning mellan paren: Tx21 – Rx21 och Tx22 – Rx21 och placerades tätt emot väggarnas ena sida, se figur 11 och 12.

Mätningarna utfördes på båda väggarna enligt:

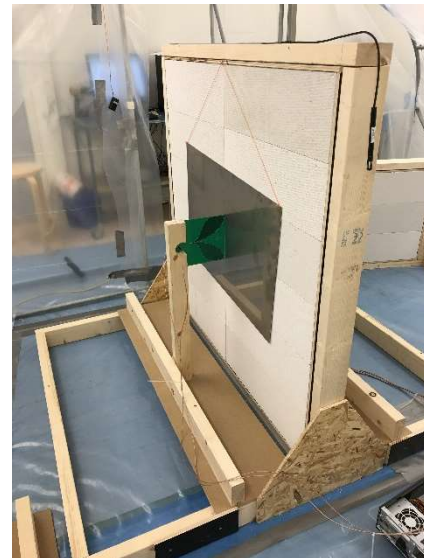
- Vägg 200 (med plåt)
- Vägg 200 (utan plåt)
- Vägg 100 (med plåt)
- Vägg 100 (utan plåt)

För exakta utförande se bilaga 3.

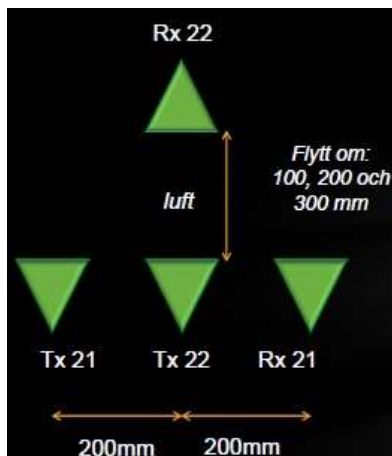
Efter en serie mätningar startades den kontinuerliga mätningen mellan Tx22 – Rx22 (utan plåt) som fick pågå till nästa mättillfälle.

Under projektets gång bestämdes det att låta den kontinuerliga mätningen pågå i ett intervall av ca en vecka utan avbrott, då det visade sig att den signalen kunde generera ett mer trovärdigt resultat.

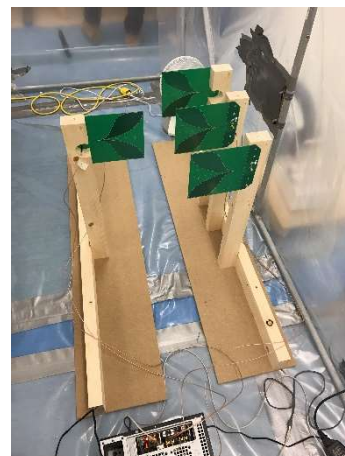
För att kunna filtrera bort signalerna som inte påverkades av väggarna och deras fuktinnehåll genomfördes referensmätningar i luft. Mätningarna gjordes mellan antennerna Tx21 – Rx21, Tx22 – Rx21 och mellan Tx22 – Rx22 med 100-, 200- och 300 mm avstånd samt med och utan plåt, figur 13 och 14.



Figur 12. Stativ med radarantenn D och plåt. Foto: Simon Westman.



Figur 13. Uppställning vid referensmätning. Källa: Daniel Andersson, Radarbolaget AB.



Figur 14. Uppställning vid referensmätning. Foto: Simon Westman.

4.4.2 Vägning av lättbetongblock

Den gravimetriska metoden där lättbetongblocken ska vägas-torkas-vägas har valts som referens metod utifrån insamlad information i litteraturstudien. Under experimentets gång har därför lättbetongblocken från prov-väggarna vägts kontinuerligt i samband med radarmätningarna. Vikten för blocken ur prov-väggarna har registrerats i ett excel-ark, se bilaga 2.

RF och temperatur

Från mätning ett (11-april) sänktes RF i tältet till ca 70 % och efter mätning två (18 april) till ca 50 %. Fram till mätning tre (19 april) hade RF utanför tältet varierat mellan 40 - 50 % under dygnets timmar men efter mätning tre öppnades tältet upp då hela rummets temperatur och RF reglerades till konstant temperatur på 22 °C och RF på 50 %. Efter mätning sex (24 april) ställdes RF i rummet ned till ca 30 %. Proceduren med vägning och mätning utfördes de följande två dagarna. Från mätning åtta (26-april) fram till mätning tio (2-maj) gjordes enbart de kontinuerliga mätningarna. Vid mätning tio utfördes nya referensmätningar i den lägre relativa fuktigheten. Efter den tionde mätningen (02-maj) höjdes temperaturen 10 grader och den kontinuerliga mätningen på 200 mm väggen fick pågå till den 8-maj. Blockens vikt registrerades vid tre tillfällen under perioden 2-8 maj. Tabell 4 och 5 visar de största förändringarna på temperatur och RF, bilaga 4 visar värden för alla mättillfällen.

Tabell 4. Temperatur och RF i tältet.

Mättillfälle	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>6</i>	<i>8</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
I tält	11-apr	18-apr	19-apr	24-apr	26-apr	02-maj	03-maj
Temp. °C	22,3	21,7	20,5	21,9	21,7	22,1	27,3
RF %	98	71	58,6	50,3	30,2	27,7	33

Tabell 5. Temperatur och RF utanför tältet.

Mättillfälle	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>6</i>	<i>8</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Utanför tält	11-apr	18-apr	19-apr	24-apr	26-apr	02-maj	03-maj
Temp. °C	22,6	22	22	21,5	21,7	21,9	27,9
RF %	32	26	36	46	29	26	29

4.5 Beräknad torrsvikt

För att kunna analysera och jämföra värden i ett tidigt skede användes ett beräknat värde på lättbetongens torrsvikt. Det beräknade värdet har också använts för att se hur mycket fukt som torkar ut och med vilken hastighet. Lättbetongblockens torrsvikt beräknades genom att multiplicera torrdensiteten, som var angivet av lättbetongtillverkaren (se bilaga 5), med volymen enligt ekvation 1.

$$m_{tb} = \rho_t \times V \text{ [kg]} \quad (\text{EKV. 1})$$

m_{tb} = materialets beräknade torrsvikt, [kg]

ρ_t = materialets torrdensitet enligt tillverkaren, [kg/m³]

V = materialets volym, [m³]

4.6 Fastställning av torrsvikt och torrdensitet

För att kontrollera om den angivna densiteten var korrekt, torkades, vid experimentets slutskede, två lättbetongblock från vardera tjocklek från prov-väggarna i 105 °C tills deras vikt slutade att minska och de ansågs vara absolut torra. Varje block delades på mitten för att rymmas i en torkningsugn, se figur 15. Torrdensiteten beräknades enligt ekvation 2 för de båda tjocklekarna och medelvärdet jämfördes mot torrdensiteten som lättbetongtillverkaren angett i produktbladet för lättbetongblocken. Den angivna torrdensiteten användes därefter vid framtagning av resultatet.



Figur 15. Torkningsugn med ett delat 200-block. Foto: Simon Westman

$$\rho_f = \frac{m_{tf}}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (\text{EKV. 2})$$

ρ_f = materialets fastställda torrdensitet, [kg/m³]

m_{tf} = materialets fastställda torrsvikt, [kg]

V = materialets volym, [m³]

4.7 Analys av mätresultat

Utifrån den beräknade torrvikten, mängden vatten (ekvation 3) och blockens volym kunde fuktkvot och fukthalt fastställas enligt ekvation 4 och 5. Ett medelvärde för fukthalt och fuktkvot för de båda prov-väggarnas lättbetongblock plottades upp som linjediagram, se bilaga 4.

$$m_{H_2O} = m_{mt} - m_{tb} \text{ [kg]} \quad (\text{EKV. 3})$$

$$m_{mt} = \text{material vid mättillfället, [kg]} \\ m_{tb} = \text{materialets beräknade torrsvikt, [kg]}$$

$$u = \frac{m_{H_2O}}{m_{tb}} \text{ [%]} \quad (\text{EKV. 4})$$

$$u = \text{Fuktkvot, [%]} \\ m_{H_2O} = \text{massa vatten, [kg]} \\ m_{tb} = \text{materialets beräknade torrsvikt, [kg]}$$

$$w = \frac{m_{H_2O}}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (\text{EKV. 5})$$

$$w = \text{Fukthalt, [kg/m}^3\text{]} \\ m_{H_2O} = \text{massa vatten, [kg]} \\ V = \text{materialets volym, [m}^3\text{]}$$

De uppmätta värden för fukthalt anpassades till resultatet från radarmätningarna som behandlades av Radarbolagets personal. Radarsignalerna visades i form av längdförändringar och påverkades av fukttinnehållet i väggen. Längdförändringarna påverkades också av brytningsindex, dvs ändringen som signaler gör när den stöter på ett nytt material. Längden påverkades också av amplituden som i sin tur var temperaturberoende. Utifrån beräkningarna sammanställdes resultatet till linjediagram för 100- respektive 200-blocken. Kurvorna för fukthalten från den gravimetriska metoden jämfördes mot radarmätningarnas kurvor.

5. Resultat

5.1 Beräknad torrsvikt

Enligt produktbladet, bilaga 5 för lättbetongblocken är dess densitet 535 kg/m^3 .

Beräkningarna nedan visar vilken torrsvikt lättbetongblocken har.

Lättbetongblock 100 mm: $535 * 0,6 * 0,2 * 0,1 = 6,42 \text{ [kg]}$

Lättbetongblock 200 mm: $535 * 0,6 * 0,2 * 0,2 = 12,84 \text{ [kg]}$

5.2 Empirisk torrsvikt och torrdensitet

100 mm blocken torkades i 118 h och 200 mm blocken i 166 h tills deras vikt slutat minska och de ansågs vara absolut torra. Ett medelvärde på torrsvikten beräknades för de båda tjocklekarna, se tabell 6. Ett gemensamt värde på lättbetongens torrdensitet beräknades från den fastställda torrsvikten till $537,5 \text{ kg/m}^3$, enligt tabell 7.

Tabell 6. Torkning av lättbetongblock.

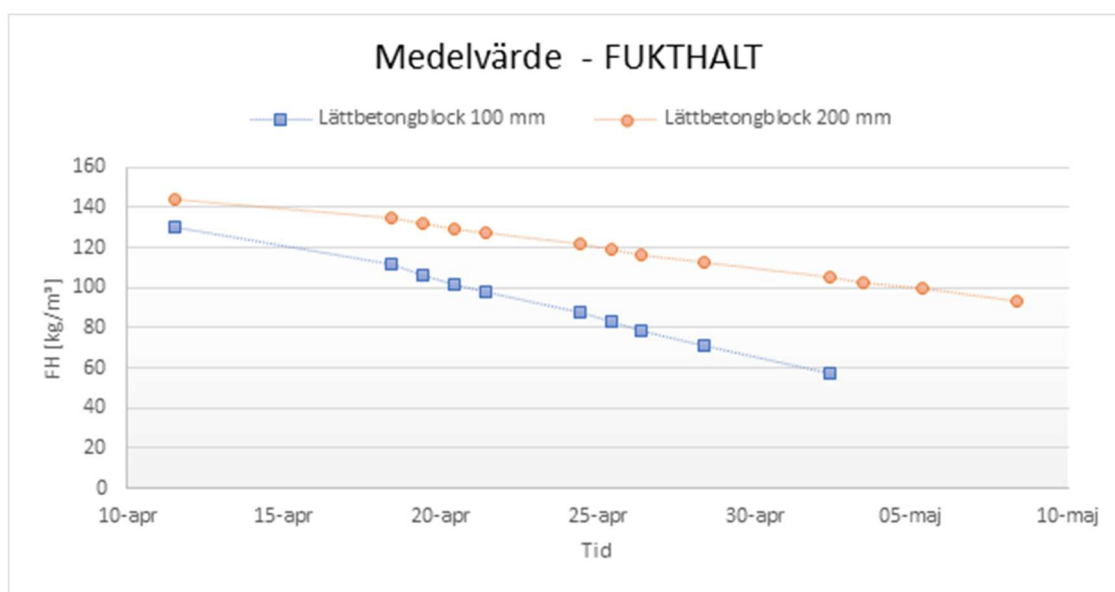
Torkning av lättbetongblock	10-maj	11-maj	12-maj	15-maj	17-maj	torktid [h]
P13 A-B [kg]			6,72	6,36	6,34	118
P11 A-B [kg]			6,84	6,43	6,43	118
P22 A-B [kg]	15,05	13,63	13,24	13,05	13,03	166
P21 A-B [kg]	14,87	13,55	13,21	13,06	13,04	166
Medelvikt						
Lättbetongblock 100 mm [kg]	6,86		6,78	6,40	6,38	
Lättbetongblock 200 mm [kg]	14,96	13,59	13,23	13,06	13,03	

Tabell 7. Empirisk torrsvikt, volym och torrdensitet för lättbetongblock.

	Torrsvikt [kg]	Volym [m^3]	Torrdensitet [kg/m^3]
Lättbetongblock 100 mm	6,38	0,012	532,0
Lättbetongblock 200 mm	13,03	0,024	543,1
Medelvärde			537,5

5.3 Fukthalt

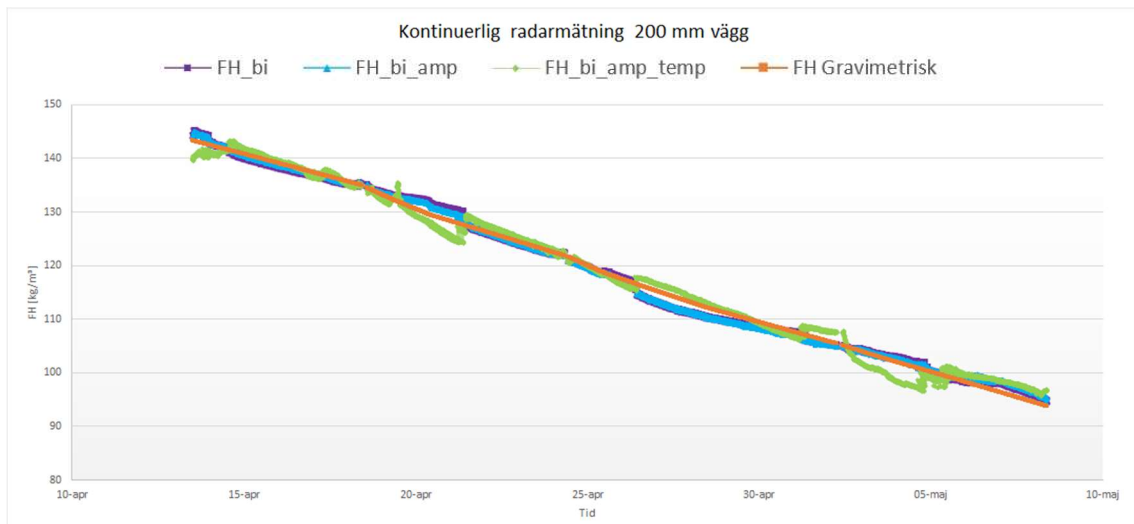
Medelvärdet för lättbetongblockens fukthalt under uttorkningsperioden 11 april till 8 maj visas i figur 16, för precisa värden se bilaga 4. Sista mättillfället för 100 mm blocken var den 2 maj medan 200 mm blocken fortsatte att torkas ut till den 8 maj. Fukthalten för 100 mm blocken startade på 131 kg/m^3 och hade vid sista mättillfället sjunkit till 58 kg/m^3 . 200 mm blocken startade med en fukthalt på 144 kg/m^3 som sjunkit till 94 kg/m^3 .



Figur 16. Lättbetongblockens fukthalt.

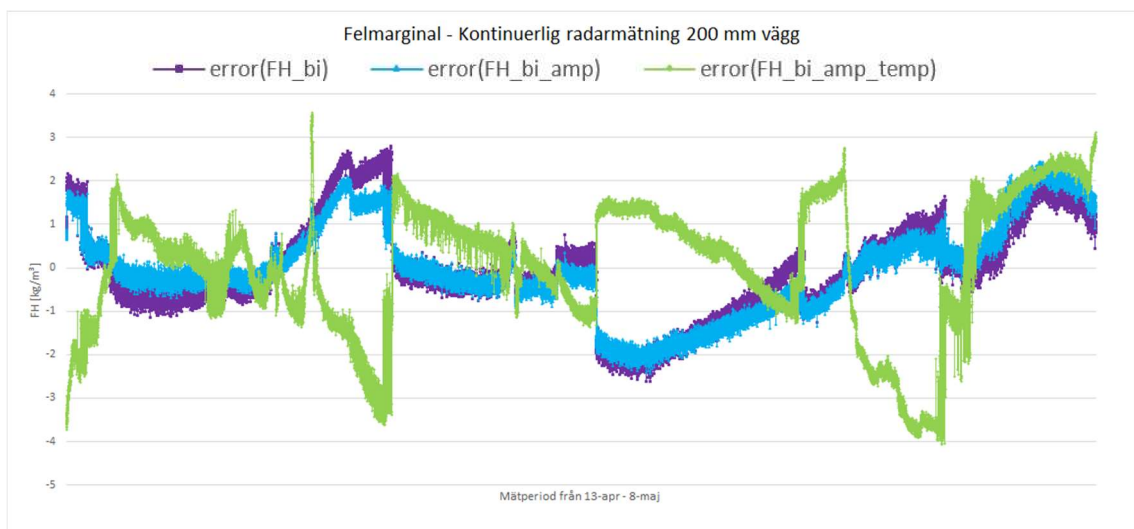
5.4 Radarmätning

Kontinuerliga radarmätningen för 200 mm väggen har genererat olika värden som anpassats till den uppmätta fukthalten. Parametrarna brytningsindex (b_i), amplitud (amp) och temperatur (temp) har använts vid beräkningarna för att se hur bra fukthalten kan bestämmas, se figur 17. Fukthalten beräknad med brytningsindex och brytningsindex/amplitud ger mindre spridning jämfört med brytningsindex/amplitud/temperatur. Diagrammet i figur 18 visar att fukthalten kan visas med en noggrannhet på $\pm 4 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{m}^3_{\text{material}}$, vilket motsvarar cirka 4 % och att anpassningen blir bäst när man använder brytningsindex/amplitud (blå kurva). Diagrammen i figur 17 och 18 finns även i bilaga 6.



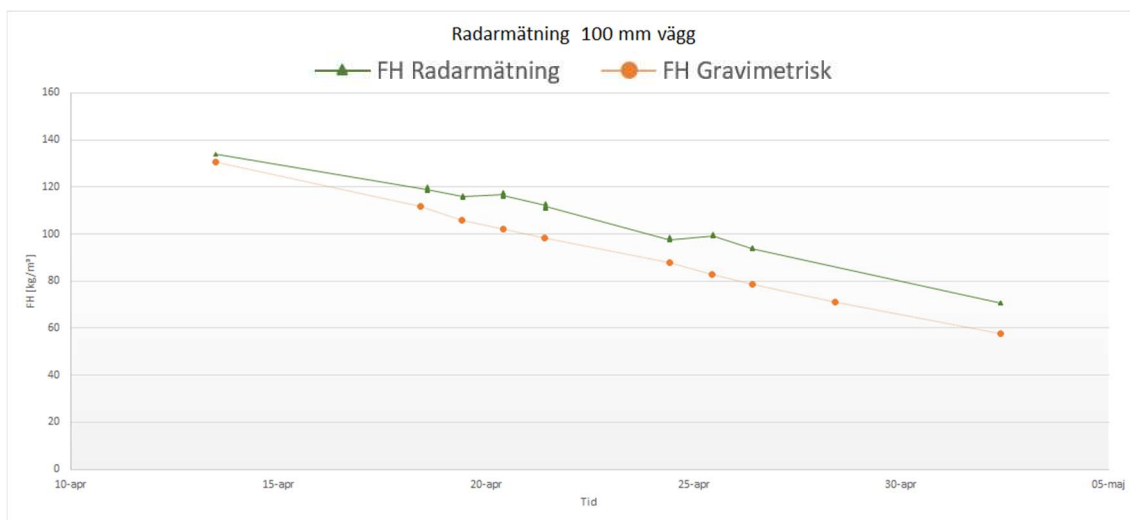
Figur 17. Resultatet från radarmätningar 200 mm väggen.

Felmarginalerna för mätning på 200 mm väggen, mellan den 13 april och 8 maj, visas i figur 18.



Figur 18. Felmarginal 200 mm väggen.

Fukthalten i 100 mm väggen från de olika metoderna skiljer sig från varandra, radarmätningen visar ett för högt värde gentemot den uppmätta fukthalten enligt figur 19, figuren finns även i bilaga 6.



Figur 19. Resultatet från radarmätningar 100 mm väggen.

5.5 Korrelation

För 200 mm väggen går det att få ett tydligt samband mellan radarmätningarna och den faktiska fukthalten från den gravimetriska metoden, figur 17. Resultatet visar att fukthalten kan bestämmas med en noggrannhet på $\pm 4 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{m}^3_{\text{material}}$, figur 18, vilket motsvarar cirka 4 %. Radarmätningarna ger inte lika bra resultat för 100 mm väggens fukthalt, figur 19, anledningen är att parametrarna har anpassats för 200 mm väggen men visade sig inte vara direkt applicerbara på 100 mm väggen. Därför skiljer fukthalterna från den gravimetriska metoden och radarmätningarna.

Resultatet från radarmätningarna är anpassade till den uppmätta fukthalten från den gravimetriska metoden, men det går även att anpassa radarmätningen till fuktkvoten.

6. Diskussion och slutsats

6.1 Lättbetongblockens densitet

Efter torkning av blocken kan det konstateras att dess torrsvikt stämmer bra överens med vad blocken beräknades väga enligt produktbladet. Medelvikten för 100 mm blocken var 6,38 kg istället för 6,42 kg som var den beräknade vikten. 200 mm blockens medelvikt fastställdes till 13,03 kg istället för det beräknade värdet på 12,84 kg. Störst skillnad är alltså på 200 mm blocken som skiljer på cirka 190 gram. Vid beräkning av torrdensiteten visar det sig att den verkliga torrdensiteten för blocken är $537,5 \text{ kg/m}^3$ i jämförelse med densiteten angiven i produktbladet som var 535 kg/m^3 . Den lägre densiteten användes genom hela experimentet och i redovisningen av resultatet eftersom beräkningar och sammanställning av mätvärden genomfördes samtidigt som mätningarna pågick. När den beräknade densiteten var nästan samma som den angivna i produktbladet ansågs det inte nödvändigt att göra om beräkningarna, eftersom det skulle ge en marginell skillnad på fukthalten både för radarmätningen och i den gravimetriska metoden. Om skillnaden på densiteten visat sig vara större, hade nya beräkningar gjorts för radarmätningarna och torrsvikten på respektive blocktjocklek, sambandet mellan radarmätningen och den gravimetriska fastställningen av fukthalten hade ändå varit densamma, metoderna hade däremot visat ett annat värde på fukthalterna.

Eftersom endast två värmeskåp fanns att tillgå i laboratoriet torkades bara två block av varje tjocklek och ett medelvärde på varje blocktjockleks torrsvikt beräknades, som sedan användes för att beräkna den gemensamma torrdensiteten för alla lättbetongblock. Tanken var att alla prov-väggarnas block skulle torkas för att beräkna ett medelvärde för dessa men eftersom det tog lång tid att torka blocken fanns det bara tid att torka två av varje tjocklek. Medelvärdet för respektive block och medelvärdet för lättbetongblockens torrdensitet bör ändå vara representativt eftersom torrdensiteten är likvärdigt densiteten som var angiven av lättbetongtillverkaren.

6.2 Radarmätningens felkällor

En stor felkälla i experimentets genomförande kan vara träreglarna som använts som form och stativ till väggarna respektive radarutrustningen har krympt till följd av en sänkning av RF. Förändringen gjorde att radarantennerna inte kunde positioneras på exakt samma ställe när mätningarna skiftade från 200 mm- till 100 mm-väggen. Vid början av experimentet märktes exakta positionen där stativen skulle placeras vid respektive vägg, men i takt med att träet krympt matchade inte markeringarna och stativet hamnade med några millimeters marginal i olika positioner vid varje mättillfälle. Eftersom radarutrustningen är väldigt känslig och påverkas av en millimeters skillnad har felmarginalen som uppstod stor inverkan på slutresultatet. Kurvorna från radarmätningen visade detta tydligt då det vid varje ny mätning uppstod en förskjutning i kurvan. Problemet med trä som sväller och krymper i takt med förändringar av luftfuktigheten är ett känt fenomen och skulle beaktats noggrannare under planeringen av experimentuppställningen. Stativen bör egentligen tillverkas av

metall, som inte påverkas på samma sätt som trä vid förändrade nivåer på luftfuktigheten, vilket skulle lösa problemet, att placera stativen på exakt samma position vid varje mättillfälle. För att undvika störningar på grund av placeringen på stativen beslutades det att endast göra de kontinuerliga mätningarna under en längre period. De kontinuerliga mätningarna kunde endast göras på en vägg åt gången och valet föll då på den 200 mm tjocka väggen. Förskjutningarna i kurvan för 200 mm väggen försvann men för att få ett likvärdigt resultat på 100 mm väggen, skulle de kontinuerliga mätningarna genomförts även på den.

Vid varje mättillfälle skickades en serie signaler mellan antennerna och genom väggen men på grund av de ostabila värden som registrerades till följd av förskjutningar av antennernas placering, var det endast de kontinuerliga mätningarna vid länkmätning som ansågs mest pålitliga. Dessa signaler krävde mindre bearbetning vid sammanställningen och gav en mer kontinuerlig kurva. Det är den kontinuerliga mätningen för 200 mm väggen som ligger till grund för slutsatsen. Mätresultatet för 100 mm väggen ska tolkas med hänsyn till att viss anpassning gjorts för att jämna ut förskjutningen från de olika mättillfällena på kurvan.

Fukthalten för de olika metoderna på 100 mm väggen skiljer sig en aning från varandra. För beräkning av fukthalten på 100 mm väggen användes de parametrar som använts för anpassningen av 200 mm väggen och ger ett för högt värde. Anledningen till detta är oklart men en möjlig orsak till det kan vara att det sker olika filtreringar av signalen eller att det är något annat som skiljer väggarna åt.

6.3 Tolkning av resultat

Resultatet från radarmätningen följer tydligt den uppmätta fukthalten från den gravimetriska metoden, för 200 mm väggen. Anledningen att fukthalten kan anges med en låg felmarginal är delvis för att radarsignalens värden anpassats till den faktiska fukthalten från den gravimetriska metoden men också för att beräkningarna av de olika parametrarna är korrekt utförda. Resultatet kan därför tolkas som att radarsignalen är kalibrerad mot en 200 mm tjock lättbetongvägg. Skulle mätningar utföras på en ny 200 mm tjock lättbetongvägg kan värden från mätningarna i det här experimentet användas som referensvärden. Att samma beräkningar inte är direkt applicerbara på en vägg av samma uppbyggnad men med mindre tjocklek gör att metoden blir komplicerad och kanske inte tillräckligt pålitlig för alla typer av lättbetongväggar.

6.4 Slutsats

Syftet med experimentet var att analysera om det fanns ett samband mellan radarsignaler och fukthalt. Resultatet visar att det går att finna ett samband, vilket mätningarna på 200 mm väggen är ett bevis på där fukthalten kan bestämmas med en felmarginal på $\pm 4 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{m}^3_{\text{material}}$, vilket motsvarar cirka 4 %. Beräkningarna som gjordes för 200 mm väggen är däremot inte direkt applicerbara på en vägg, av samma

material men med mindre tjocklek, vilket visade sig i resultatet för 100 mm väggen. Radarmätningarna visade för hög fukthalt jämfört med fukthalten från den gravimetriska metoden. Radartekniken blir krånglig att använda eftersom man måste kalibrera radarutrustningen för flera tjocklekar av samma material för att få ett pålitligt resultat.

Målet med arbetet var att avgöra om radartekniken är en användbar metod för att mäta fukthalten i en lättbetongvägg, vilket resultatet visar att den är. Under de kontrollerade formerna som tekniken användes går det att få ett mycket bra värde på fukthalten i en lättbetongvägg. Metoden är däremot komplicerad men det kan finnas värde i att göra fler studier för flerskiktade konstruktioner för att avgöra om tekniken kan vara användbar för befintliga byggnadskonstruktioner.

7. Referenser

- Bao Dong, L., Lin, L., Peng Fei, L. & Wen Juan, L. (2014). Effect of moisture content on static compressive elasticity modulus of concrete. *Construction and Building Materials* 69(2014), 133 – 142. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.06.094
- Björk, C., Kallstenius, P., & Reppen, L. (2013). *Så byggdes husen 1880 – 2000: arkitektur, konstruktion och material i våra flerbostadshus under 120 år*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Burström, P.G. (2007). *Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. (2. uppl.) Lund: Studentlitteratur.
- Černý, R. & Pavlík, Z. (2012). Determination of Moisture Diffusivity as a Function of Both Moisture and Temperature. *International Journal of Thermophys* 33(2012), 1704 - 1714. doi: 10.1007/s10765-011-1006-y
- Chen, X., Huang, W. & Zhou, J. (2012). Effect of moisture content on compressive and split tensile strength of concrete. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 19(6), 427-435.
- Fuktsäkra byggnader. (u.å.a). Fuktkällor. Hämtad 2017-05-03 från <http://www.fuktsakerhet.se/sv/fukt/fuktkallor/Sidor/default.aspx>
- Fuktsäkra byggnader. (u.å.b). Missfärgning. Hämtad 2017-05-09 från <http://www.fuktsakerhet.se/sv/fukt/fuktskador/missfargning/Sidor/default.aspx>
- Haddadi, K. & Lasri, T. (2014). CW radar for monitoring water-to-cellular concrete. *2014 11th European Radar Conference, European Radar Conference (EuRAD), 2014 11th*, 529-532. doi:10.1109/EuRAD.2014.6991324
- Hola, A., Hola, J. & Matkowski, Z. (2017). Analysis of the moisture content of masonry walls in historical buildings using the basement of a medieval town hall as an example. *Procedia Engineering*, 172(2017), 363 – 368. doi: 10.1016/j.proeng.2017.02.041
- Koci, V., Vejmelkova, E., Cachova, M., KoAakova, D., Keppert, M., MadAra, J. & Cerny, R. (2017). Effect of Moisture Content on Thermal Properties of Porous Building Materials. *International Journal of Thermophysics*, 38(2), 1-12. doi:10.1007/s10765-016-2164-8
- Kääriäinen, H., Rudolph, M., Schaurich, D., Tulla, K. & Wiggerhauser, H. (2001). Moisture measurements in building materials with microwaves. *NDT and E International*, 34(6), 389-394. doi:10.1016/S0963-8695(01)00005-6

Maksimović, M., Stojanović, G. M., Radovanović, M., Malešev, M., Radonjanin, V., Radosavljević, G. & Smetana, W. (2012). Application of a LTCC sensor for measuring moisture content of building materials. *Construction and Building Materials*, 26(1), 327-333. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.06.029

Nevander, L. E. & Elmarsson, B. (2006). *Fukthandbok: Praktik och Teori*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst

Phillipson, M. C., Baker, P. H., Davies, M., Ye, Z., McNaughtan, A., Galbraith, G. H., & McLean, R. C. (2007). Moisture measurement in building materials: an overview of current methods and new approaches. *Building Services Engineering Research & Technology*, 28(4), 303-316. doi:10.1177/0143624407084184

Radarbolaget. (u.å). Radar. Hämtad 2017-05-03, från <http://www.radarbolaget.com/radar>

Rådet för byggkompetens. (2017). *Fuktmättningsmanual – betong*. Hämtad 2017-03-22, från http://www.rbk.nu/ladda-ner--bestall/fuktmatningsmanual__36

Sandin, K. (2010). *Praktisk byggnadsfysik*. (1. uppl.) Lund: Studentlitteratur.

Sass, O & Viles, H.A. (2006). How wet are these walls? Testing a novel technique for measuring moisture in ruined walls. *Journal of Cultural Heritage* 7(2006), 257–263. doi: 10.1016/j.culher.2006.08.001

Shoukry, S. N., William, G. W., Downie, B. & Riad, M. Y. (2011). Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 25(2), 688-696. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.07.020

Skogforsk. (2016a). *Delprojekt "Mäta med radar" igång*. Hämtad 2017-03-21, från <http://www.skogforsk.se/kunskap/projekt/matning-av-skogsbransle/delprojektet-mata-med-radar-i-full-gang/>

Skogforsk. (2016b). Radarutrustningen testas på Gävle värmeverk. Hämtad 2017-05-19, från <http://www.skogforsk.se/kunskap/projekt/matning-av-skogsbransle/Radarutrustningen-testas-pa-Gavle-Varmeverk>

Bilagor

Bilaga 1 - Litteratursökning

Bilaga 2 - ID-märkning och vägning av lättbetongblock

Bilaga 3 - Checklista väggmätningar HIG

Bilaga 4 - Fuktkvot, fukthalt, RF och temperatur

Bilaga 5 - Produktblad lättbetongblock

Bilaga 6 - Radarmätningar

Bilaga 1 – Litteratursökning

Sökord	Databas	Antal träffar	Valda artiklar	Relevans
Moisture content, concrete och non-destructive methods	Discovery	62	CW radar for monitoring water-to-cellular concrete	6
Moisture content och concrete	Discovery	2 108	Effect of moisture content on static compressive elasticity modulus of concrete	8
Moisture measurements och building materials	Discovery	1 760	Moisture measurement in building materials: an overview of current methods and new approaches	1
Moisture measurements och building materials	Discovery	2 633 648	Moisture measurements in building materials with microwaves	10
Moisture content och building materials	Discovery	3 457	Effect of Moisture Content on Thermal Properties of Porous Building Materials, Application of a LTCC sensor for measuring moisture content of building materials	1 9
Moisture content,	Discovery	555	Effect of moisture content on	1

Bilaga 1 - Litteratursökning

concrete och strength			compressive and split tensile strength of concrete	
Effect of moisture och concrete	Discovery	2 467	Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of concrete	13
Determination eller moisture	SpringerLink	1 700 755	Determination of Moisture Diffusivity as a Function of Both Moisture and Temperature	13
Moisture content och determination	ScienceDirect	115 242	Analysis of the Moisture Content of Masonry Walls in Historical Buildings Using the Basement of a Medieval Town Hall as an Example	17
Measuring moisture och destructive method	ScienceDirect	17 561	How wet are these walls? Testing a novel technique for measuring moisture in ruined walls	56

Bilaga 2 - ID-märkning och vägning av lättbetongblock

Vägning lättbetongblock 600x200x100					
id:	17-mar	20-mar	22-mar	28-mar	05-apr
101	8,29	8,07	8,09	8,10	8,04
102	8,30	8,13	8,14	8,13	8,05
103	8,31	8,18	8,19	8,19	8,12
104	8,00	7,92	7,95	7,95	7,91
105	8,35	8,27	8,27	8,26	8,17
106	8,35	8,25	8,26	8,25	8,18
107	8,39	8,26	8,27	8,24	8,14
108	8,44	8,30	8,33	8,32	8,25
109	8,40	8,29	8,29	8,28	8,20
110	8,35	8,26	8,27	8,25	8,16
111	8,40	8,30	8,31	8,30	8,21
112	8,41	8,30	8,32	8,31	8,20
P11A-B	8,43	8,32	8,34	8,33	8,24
P12A-B	8,05	7,95	7,97	7,98	7,90
P13A-B	8,29	8,17	8,19	8,19	8,12
medel vikt:	8,32	8,20	8,21	8,21	8,13

Vägning lättbetongblock 600x200x200					
id:	17-mar	20-mar	22-mar	28-mar	05-apr
201	17,36	16,67	16,34	16,42	16,33
202	16,58	16,48	16,53	16,53	16,41
203	16,79	16,72	16,74	16,73	16,58
204	16,91	16,83	16,32	16,39	16,33
205	17,32	16,65	16,32	16,39	16,33
206	17,45	16,80	16,43	16,50	16,40
207	16,70	16,59	16,65	16,62	16,47
208	16,67	16,60	16,66	16,66	16,53
209	16,63	16,55	16,60	16,62	16,53
210	15,97	15,88	15,94	15,98	15,93
211	15,96	15,92	15,97	16,02	15,93
212	15,32	15,28	15,36	15,43	15,37
P21A-B	16,21	16,09	16,15	16,19	16,10
P22A-B	16,65	16,55	16,60	16,61	16,50
P23A-B	16,91	16,79	16,82	16,83	16,67
medel vikt:	16,63	16,43	16,36	16,39	16,29

= block med avvikande hög fukthalt

= block med lägst vikt jämförelse med medelvikten vid montaget

= block med högst vikt jämförelse med medelvikten vid montaget

Differens (aktuell vikt minus medelvikt)				
17-mar	20-mar	22-mar	28-mar	05-apr
-0,03	-0,13	-0,12	-0,11	-0,09
-0,02	-0,07	-0,07	-0,08	-0,08
-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01
-0,32	-0,28	-0,26	-0,26	-0,22
0,03	0,07	0,06	0,05	0,04
0,03	0,05	0,05	0,04	0,05
0,07	0,06	0,06	0,03	0,01
0,12	0,10	0,12	0,11	0,12
0,08	0,09	0,08	0,07	0,07
0,03	0,06	0,06	0,04	0,03
0,08	0,10	0,10	0,09	0,08
0,09	0,10	0,11	0,10	0,07
0,11	0,12	0,13	0,12	0,11
-0,27	-0,25	-0,24	-0,23	-0,23
-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,01
max	0,12	0,12	0,13	0,12
min	-0,32	-0,28	-0,26	-0,26

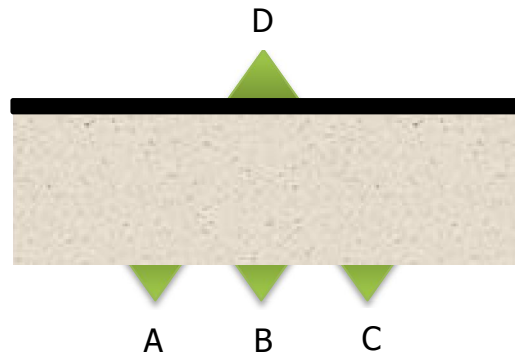
Differens (aktuell vikt minus medelvikt)				
17-mar	20-mar	22-mar	28-mar	05-apr
0,73	0,24	-0,02	0,03	0,04
-0,05	0,05	0,17	0,14	0,12
0,16	0,29	0,38	0,34	0,29
0,28	0,40	-0,04	0,00	0,04
0,69	0,22	-0,04	0,00	0,04
0,82	0,37	0,07	0,11	0,11
0,07	0,16	0,29	0,23	0,18
0,04	0,17	0,30	0,27	0,24
0,00	0,12	0,24	0,23	0,24
-0,66	-0,55	-0,42	-0,41	-0,36
-0,67	-0,51	-0,39	-0,37	-0,36
-1,31	-1,15	-1,00	-0,96	-0,92
-0,42	-0,34	-0,21	-0,20	-0,19
0,02	0,12	0,24	0,22	0,21
0,28	0,36	0,46	0,44	0,38
max	0,82	0,40	0,46	0,44
min	-1,31	-1,15	-1,00	-0,96

Bilaga 3 - Checklista väggmätningar HIG

Skapad av Daniel Andersson, Radarbolaget AB

Mätningsserier:

- 2:1-2:1 (A-C)
- 2:2-2:1 (B-C)
- 2:2-2:2 (B-D)



Checklista

1. Referensmätningar i luft (ingen vägg)
 - a. Märk filen ref_radar_datum
2. Referensmätning länk olika avstånd (100mm, 200mm, 300mm, 400mm)
 - a. Märk filen ref_link_datum
3. Sätt dit plåten på 200 väggen
4. Ställ in filnamn wall_200_plate_datum
5. Mät
6. Ta bort plåten
7. Ställ in filnamn wall_200_datum
8. Mät
9. Ställ över utrustningen till 100 väggen
10. Sätt dit plåten
11. Ställ in filnamn wall_100_plate_datum
12. Mät
13. Ta bort plåten
14. Ställ in filnamn wall_100_datum
15. Mät
16. Flytta över utrustningen till 200 väggen
17. Ingen plåt!
18. Ställ in filnamn wall_200_kont_datum

Bilaga 3 – Checklista väggmätningar HIG

19. Mät kontinuerligt

20. Vid varje mättillfälle börja om från 3

Lycka till!

Vid varje mätning:

- Edit
- Ställ in pause tiden till noll
- Ställ in antal mätningar på 10
- Update
- Save

- Skriv in rätt filnamn
- Apply (Om en dialogruta kommer upp har ni redan sparat en fil med det namnet)

- Klicka på scan Seq

Vid kontinuerlig mätning:

- Edit
Ställ in pause tiden till 60
- Ställ in antal mätningar på -1
- Update
- Save

- Skriv in rätt filnamn
- Apply (Om en dialogruta kommer upp har ni redan sparat en fil med det namnet)

- Klicka på scan Seq

Spara inställningarna

F9

Se antal mätningar

F3

Debug

- Händer det inget vid scan seq så testa connect-> disconnected, connect->connected å försök igen

Bilaga 4 - Fukthalt, fuktkvot, RF och temperatur

	Torrsvikt utifrån tillverkarens densitet		Tillverkarens densitet		Blockens volym	
Lättbetongblock 100 mm	6,42	[kg]	535	[kg/m ³]	0,012	[m ³]
Lättbetongblock 200 mm	12,84	[kg]	535	[kg/m ³]	0,024	[m ³]

Prov-vägg 600x200x100
P13 A-B
P12 A-B
P11 A-B

	11-apr	18-apr	19-apr	20-apr	21-apr	24-apr	25-apr	26-apr	28-apr	02-maj	03-maj	05-maj	08-maj
P13 A-B - 100 mm	8,01	7,77	7,69	7,64	7,59	7,46	7,40	7,34	7,25	7,09	7,05	6,97	6,86
P13 A-B - fukttinhåll [kg]	1,59	1,35	1,27	1,22	1,17	1,04	0,98	0,92	0,83	0,67	0,63	0,55	0,44
P13 A-B - fukthalt [kg H ₂ O/m ³]	132,5	112,5	105,8	101,7	97,5	86,7	81,7	76,7	69,2	55,8	52,5	45,8	36,7
P13 A-B - fuktkvot [kg H ₂ O / kg torrsvikt]	24,77%	21,03%	19,78%	19,00%	18,22%	16,20%	15,26%	14,33%	12,93%	10,44%	9,81%	8,57%	6,85%
P12 A-B - 100 mm	7,83	7,64	7,57	7,53	7,49	7,38	7,31	7,27	7,18	7,02	7,00	6,93	6,83
P12 A-B - fukttinhåll [kg]	1,41	1,22	1,15	1,11	1,07	0,96	0,89	0,85	0,76	0,6	0,58	0,51	0,41
P12 A-B - fukthalt [kg H ₂ O/m ³]	117,5	101,7	95,8	92,5	89,2	80,0	74,2	70,8	63,3	50,0	48,3	42,5	34,2
P12 A-B - fuktkvot [kg H ₂ O / kg torrsvikt]	21,96%	19,00%	17,91%	17,29%	16,67%	14,95%	13,86%	13,24%	11,84%	9,35%	9,03%	7,94%	6,39%
P11 A-B - 100 mm	8,12	7,88	7,81	7,76	7,72	7,59	7,53	7,48	7,39	7,23	7,19	7,11	7,00
P11 A-B - fukttinhåll [kg]	1,7	1,46	1,39	1,34	1,3	1,17	1,11	1,06	0,97	0,81	0,77	0,69	0,58
P11 A-B - fukthalt [kg H ₂ O/m ³]	141,7	121,7	115,8	111,7	108,3	97,5	92,5	88,3	80,8	67,5	64,2	57,5	48,3
P11 A-B - fuktkvot [kg H ₂ O / kg torrsvikt]	26,48%	22,74%	21,65%	20,87%	20,25%	18,22%	17,29%	16,51%	15,11%	12,62%	11,99%	10,75%	9,03%

Medelvärde fukthalt & fuktkvot

Lättbetongblock 100 mm	131	112	106	102	98	88	83	79	71	58	55	49	40
Lättbetongblock 100 mm	24,40%	20,92%	19,78%	19,06%	18,38%	16,46%	15,47%	14,69%	13,29%	10,80%	10,28%	9,09%	7,42%

Prov-vägg 600x200x200
P23 A-B
P22 A-B
P21 A-B

	11-apr	18-apr	19-apr	20-apr	21-apr	24-apr	25-apr	26-apr	28-apr	02-maj	03-maj	05-maj	08-maj
P23 A-B - 200 mm	16,50	16,25	16,17	16,10	16,05	15,90	15,83	15,77	15,66	15,48	15,42	15,33	15,18
P23 A-B - fukttinhåll [kg]	3,66	3,41	3,33	3,26	3,21	3,06	2,99	2,93	2,82	2,64	2,58	2,49	2,34
P23 A-B - fukthalt [kg H ₂ O/m ³]	152,5	142,1	138,8	135,8	133,8	127,5	124,6	122,1	117,5	110,0	107,5	103,8	97,5
P23 A-B - fuktkvot [kg H ₂ O / kg torrsvikt]	28,50%	26,56%	25,93%	25,39%	25,00%	23,83%	23,29%	22,82%	21,96%	20,56%	20,09%	19,39%	18,22%
P22 A-B - 200 mm	16,38	16,15	16,08	16,02	15,97	15,82	15,75	15,70	15,59	15,42	15,36	15,28	15,14
P22 A-B - fukttinhåll [kg]	3,54	3,31	3,24	3,18	3,13	2,98	2,91	2,86	2,75	2,58	2,52	2,44	2,3
P22 A-B - fukthalt [kg H ₂ O/m ³]	147,5	137,9	135,0	132,5	130,4	124,2	121,3	119,2	114,6	107,5	105,0	101,7	95,8
P22 A-B - fuktkvot [kg H ₂ O / kg torrsvikt]	27,57%	25,78%	25,23%	24,77%	24,38%	23,21%	22,66%	22,27%	21,42%	20,09%	19,63%	19,00%	17,91%
P21 A-B - 200 mm	16,02	15,84	15,78	15,72	15,68	15,56	15,49	15,44	15,35	15,19	15,15	15,07	14,95
P21 A-B - fukttinhåll [kg]	3,18	3	2,94	2,88	2,84	2,72	2,65	2,60	2,51	2,35	2,31	2,23	2,11
P21 A-B - fukthalt [kg H ₂ O/m ³]	132,5	125,0	122,5	120,0	118,3	113,3	110,4	108,3	104,6	97,9	96,2	92,9	87,9
P21 A-B - fuktkvot [kg H ₂ O / kg torrsvikt]	24,77%	23,36%	22,90%	22,43%	22,12%	21,18%	20,64%	20,25%	19,55%	18,30%	17,99%	17,37%	16,43%

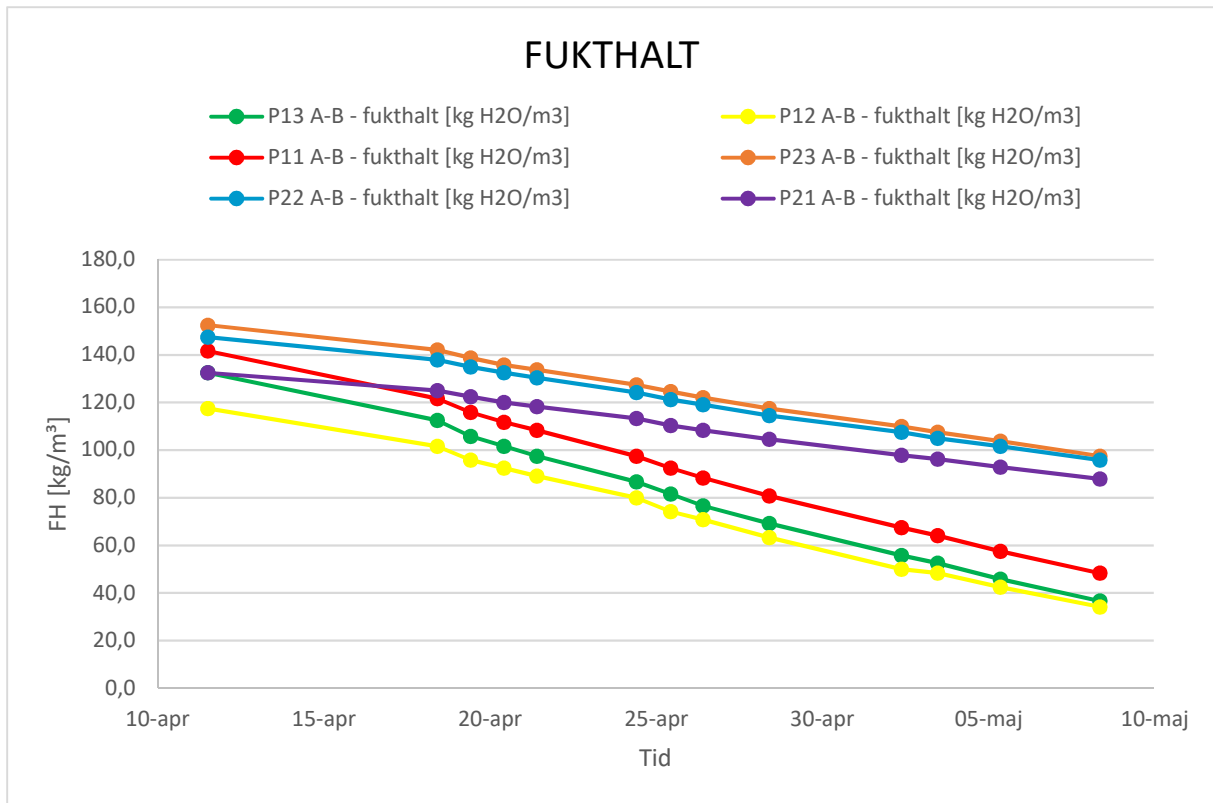
Medelvärde fukthalt & fuktkvot

Lättbetongblock 200 mm	144	135	132	129	128	122	119	117	112	105	103	99	94
Lättbetongblock 200 mm	26,95%	25,23%	24,69%	24,20%	23,83%	22,74%	22,20%	21,78%	20,98%	19,65%	19,24%	18,59%	17,52%

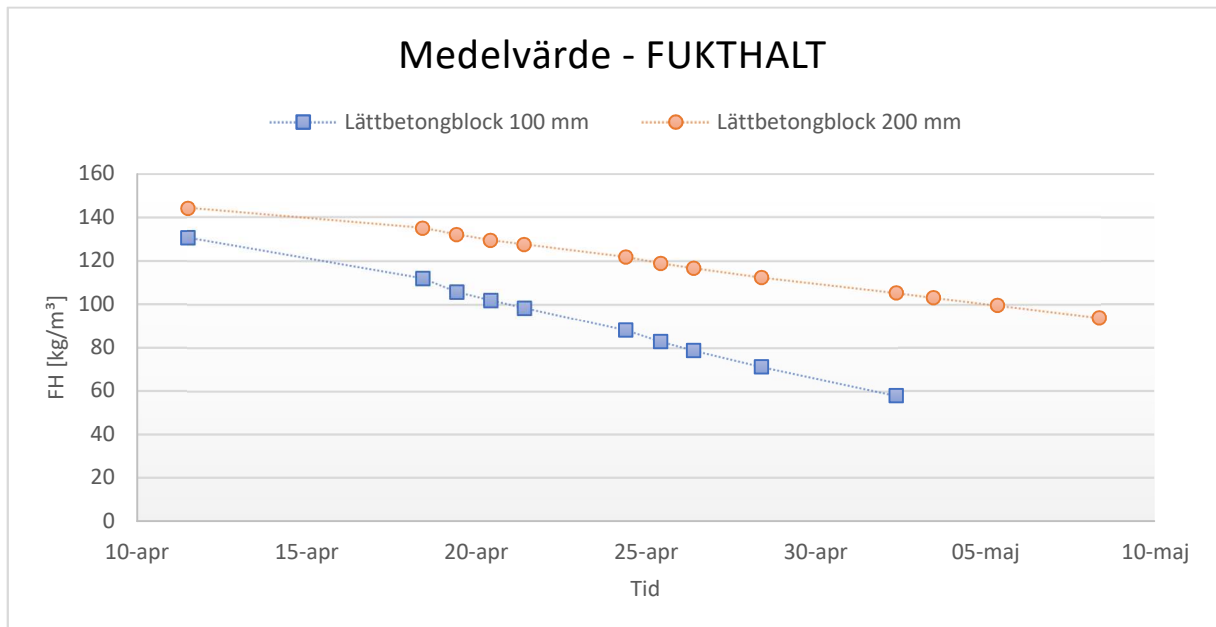
RF och temperatur

Tält	11-apr	18-Apr	19-apr	20-apr	21-apr	24-apr	25-apr	26-apr	28-apr	02-maj	03-maj	05-maj	08-maj
Temp	22,3	21,7	20,5	22	22,2	21,9	21,6	21,7	21,95	22,05	27,28	27,5	27,7
RF %	98	71	58,6	50	53,3	50,3	33,5	30,2	29,38	27,72	33	29	26,11

Utanför tält	11-apr	18-Apr	19-apr	20-apr	21-apr	24-apr	25-apr	26-apr	28-apr	02-maj	03-maj	05-maj	08-maj
Temp	22,6	22	22	21,7	21,2	21,5	21,5	21,7	21,7	21,9	27,9	28,2	28,3
RF %	32	26	36	49	47	46	30	29	27	26	29	24	21

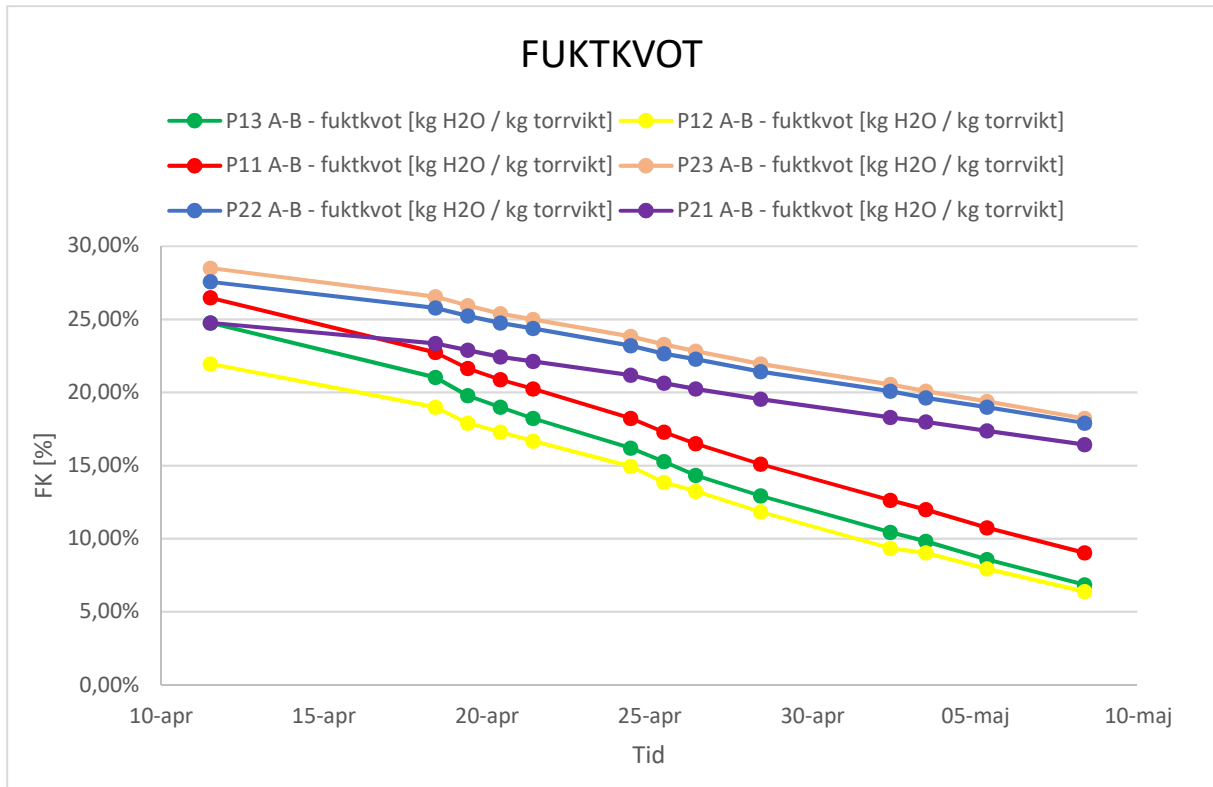


Figur 1. Fukthalt i lättbetongblocken från prov-väggarna.

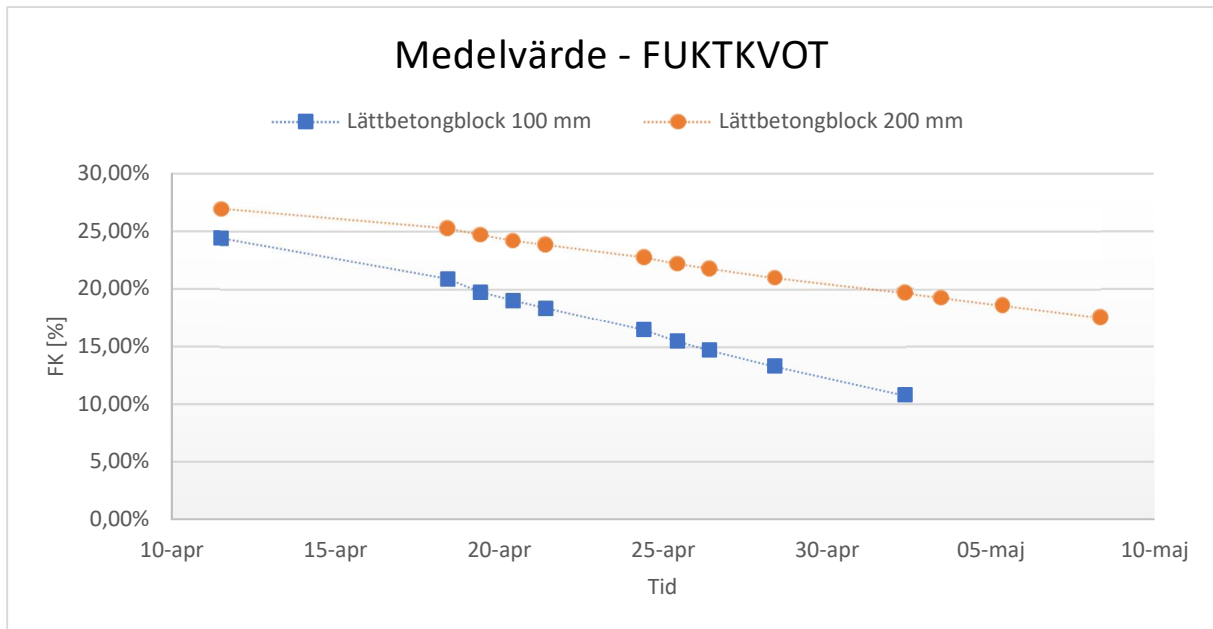


Figur 2. Medelvärde för fukthalt i lättbetongblocken från prov-väggarna

Bilaga 4 - Fukthalt, fuktkvot, RF och temperatur



Figur 3. Fuktkvot i lättbetongblocken från prov-väggarna.



Figur 4. Medelvärde för fuktkvot i lättbetongblocken från prov-väggarna.

H+H multiplattan 535

Produktdata



H+H multiplattan är ett massivt lättbetongblock som används till bärande och ej bärande vägg i småhus, flerbostadshus, kontor, industri och skolor/förskolor. Den används även till att bygga inredningar såsom hyllor, köksöar, spiskåpor och inredning i badrum.

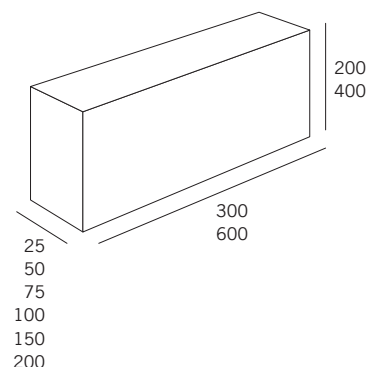
Blocken sammanfogas med H+H tunnfogslim eller plattlim. Det är ett lim som är baserat på sulfatresistent cement och det läggs på med en tandad skopa. Fogens tjocklek är ca 2 mm.

Plattan tunnputsas eller spacklas invändigt före tapetsering eller målning.

Beteckning	PPW 4-0,55
Densitet, kg/m ³	535
Hållfasthetsklass	4,5
Normaliserad tryckhållfasthet MPa	4,5
Värmekonduktivitet $\lambda_{10, dry}$ W/mK	0,132
Leveransdensitet kg/m ³	750

Mått, leveransvikt, konstruktionstyngd, limåtgång

Längd mm	Tjocklek mm	Höjd mm	Leveransvikt kg/st	Konstruktionstyngd kN/m ²	Limåtgång kg/st
300	25	200	1,2	-	-
600	50	400	9,0	0,32	0,20
600	75	200	7,0	0,49	0,25
600	75	400	14,0	0,49	0,32
600	100	200	9,0	0,65	0,30
600	100	400	18,0	0,65	0,38
600	150	200	13,5	0,98	0,45
600	200	200	18,0	1,30	0,60



Toleranser: Tjocklek $\pm 1,5$ mm.
Höjd $-1,0 \pm 1,0$ mm. Längd $-1,0 \pm 1,5$ mm.

Brandteknisk klass

Tjocklek mm Oberäknat puts	Brandteknisk klass ¹			
	Enbart bärande vägg		Bärande och avskiljande vägg	Ej bärande, avskiljande vägg
	Ensidig brandpåverkan	Tvåsidig brandpåverkan		
50	-	-	-	EI 30
75	-	-	-	EI 90
100	R 90	R 30	REI 90	EI 120
150	R 180	R 90	REI 180	EI 240
200	R 240	R 120	REI 240	EI 240

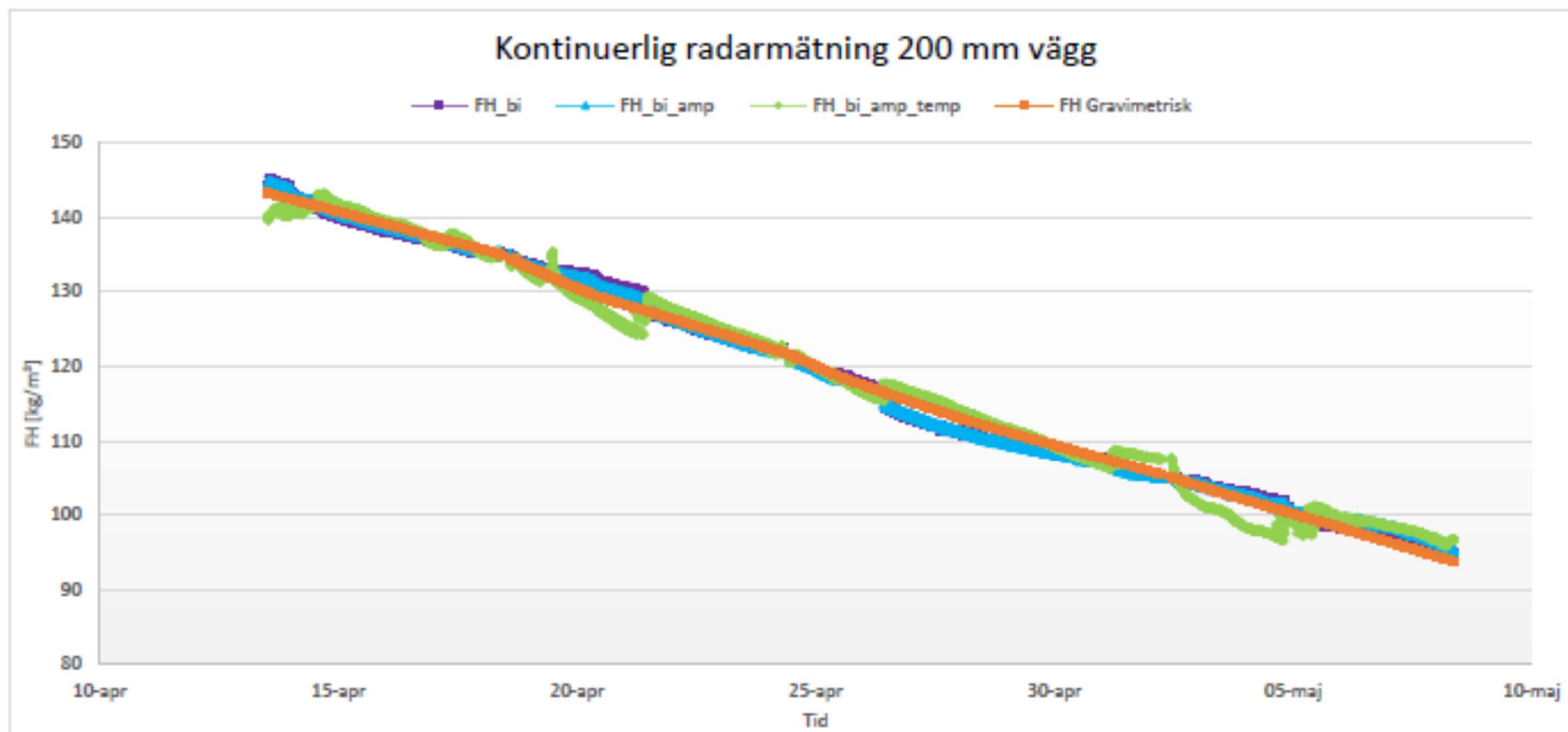
¹ Brandteknisk klass publicerad i Brandskydd, Byggvägledning 6, Svensk byggtjänst

Bilaga 6 – Radarmätningar

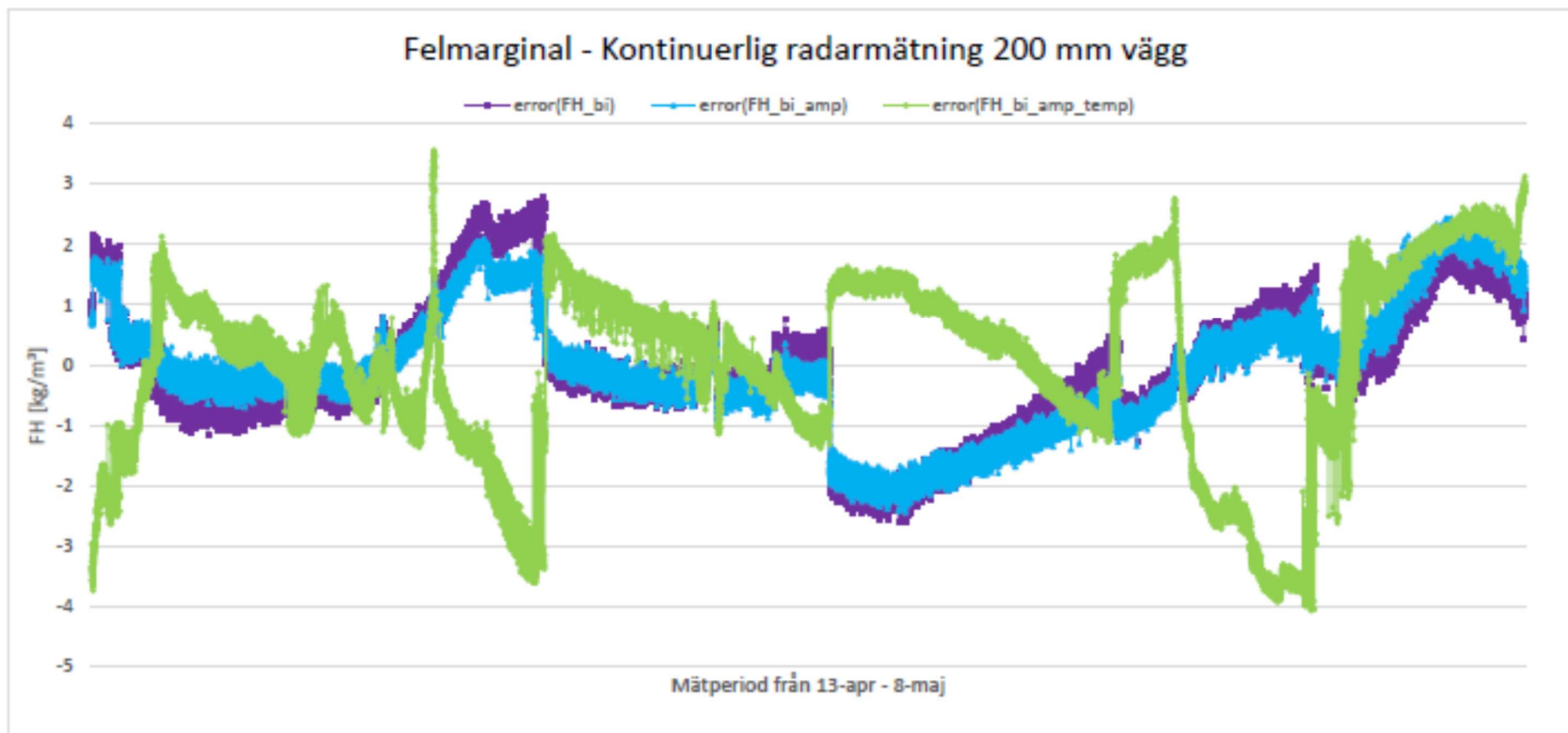
FH_bi = Fukthalt beräknad med brytningsindex.

FH_bi_amp = Fukthalt beräknad med brytningsindex och amplitud.

FH_bi_amp_temp = Fukthalt beräknad med brytningsindex, amplitud och temperatur.

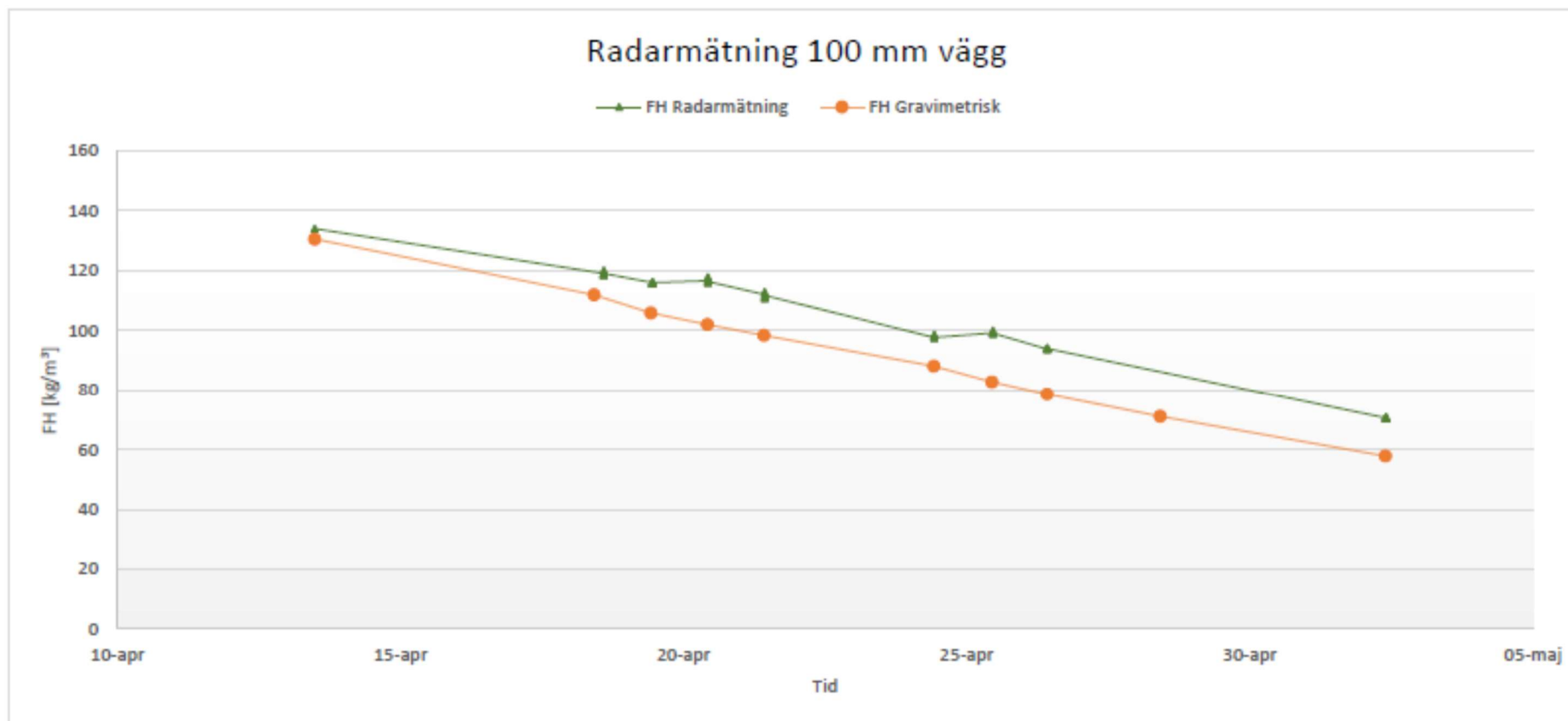


Figur 1. Resultat från radarmätning på 200 mm-väggen.



Figur 2. Felmarginal vid radarmätning på 200 mm-väggen.

Bilaga 6 - Radarmätningar



Figur 3. Resultatet från radarmätning på 100 mm-väggen