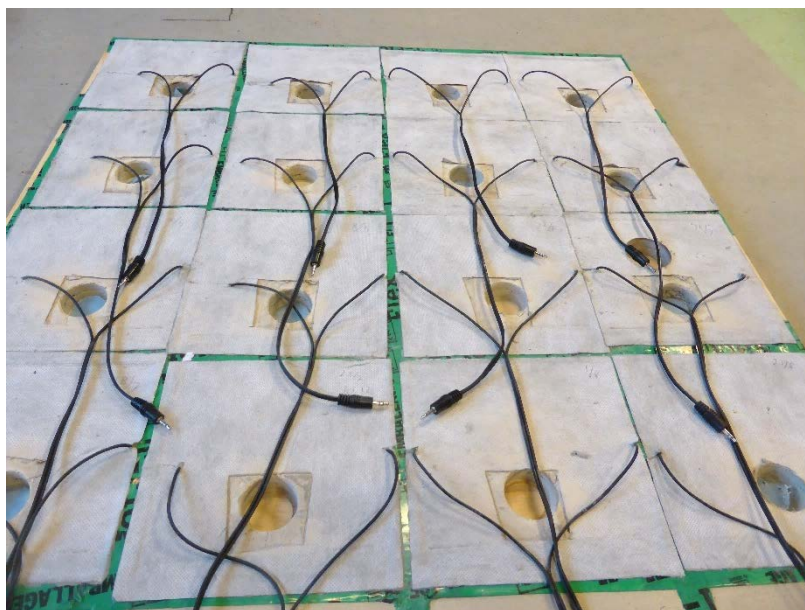


Metod för trendmätning av fukttillstånd i tjocka avjämningsskikt

- *Tester av resistiva mätmetoder*



SBUF projekt nr: 12990

2016-11-30

FuktCom, Lund



Jörgen Grantén

FÖRORD

Projektet har en hög ”behovsfaktor” då det idag saknas enkla sätt att följa och säkerställa uttorkningen i tjocka avjämnningsskikt.

Inom vår verksamhet har flertalet tester av ”försökskaraktär” gjorts inför detta projekt, vilket ledde fram till en SBUF-ansökan att utveckla ett mätförfarande för trendmätning som nu redovisas här. Engagemanget bakom försöken kommer från erfarenheter som fuktsakkunnig vid ny- och ombyggnation och från skadefall där oklarheter kring fukttillstånd i tjocka avjämnningsskikt är stora.

Under resans gång har ett antal personer involverats i diskussioner kring upplägg och resultat, vilket har tillfört viktigt kunnande. Aktörerna i referensgruppen redovisas i rapporten och har bestått av representanter från:

- Entreprenörer.
- Materialleverantörer.
- Fukttekniker.
- Fuktsakkunniga och utredande konsulter.

Vi hoppas att våra tester ger möjlighet att utveckla mätmetoden fullt ut för att kontrollera fukttillstånd bättre inför mattläggning. Syftet med att förenkla mätförfarandet är att undvika uppkomsten av svårdefinierbara fuktskador. Höga fukttillstånd som påverkar golvbeläggningar innebär alltid en ökad hälsorisk för berörda brukare av byggnaden.

Tack till Jörgen Dahlström, fd ByggCompagniet i Malmö, som varit projektsökande i starten och till Mattias Gunnarsson på Peab i Göteborg som tog över projektet.

Tack till er som hittills visat intresse för rapporten och bidragit med input.

Med vänlig hälsning

Jörgen Grantén
Civ ing, Dipl fuktsakkunnig

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	2
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	3
SAMMANFATTNING	4
Projektets syfte	4
Fördelar med ny indikeringsmetod	4
Genomförande	4
Resultat	5
Slutsatser	6
1 Projektets bakgrund	7
Syfte	7
Problembeskrivning	7
Referensgrupp	8
Avgränsningar	8
2 Genomförande	9
Stegvis utveckling av givare och metod	9
3 Resultat.....	10
Steg 0: Kunskapsläge	10
Steg 1: Olika resistiva metoder	12
Steg 2: Koppartrådar	16
Steg 3: Gjuten givare	20
Steg 4: "FC-givare" – Stålstift i ram	22
Steg 5: Fältförsök	27
Steg 6: Laboratieförsök	30
4 Slutsatser av försöken.....	39
Givare	39
Användbarhet/begränsningar	39
Vidare behov av utvärdering	41

SAMMANFATTNING

I detta SBUF-projekt har möjligheterna undersökts att med ingjutna givare läsa av fukttillståndet indikativt i tjocka avjämningskikt. Metoden bygger på resistiv mätning, vilket betyder att motståndet mäts mellan två ledare som omvandlas till ett indikativt värde för relativ fuktighet (RF).

Projektets syfte

Ett enkelt och robust mätförfarande för indikering skulle kunna underlätta planering och säkerställa golvläggning på torra underlag, så att risken minskar för inomhusmiljöproblem orsakade av skaderelaterade emissioner från golv.

Fördelar med ny indikeringsmetod

En givare för resistiv mätning som kan gjutas in är att föredra eftersom avjämnningen inte behöver påverkas i samband med uttag av prov eller borring. Metoden har många fördelar jämfört med vanlig fuktmätning med uttaget prov:

- Mätning kräver ingen borring som medför värmepåverkan.
- Mätning kan göras om hur många gånger som helst.
- Indikeringsvärdet mäts direkt i materialet och kräver ingen tid till jämvikt.
- Givaren kan inte trampas sönder då den är ingjuten.
- Mätvärdena kan loggas och läsas av på distans.
- Givaren har relativt låg kostnad.
- Givaren kräver ingen inbördes kalibrering pga olika givaregenskaper.
- Givaren kan monteras där avjämnningen kommer att bli tjockast i samband med avvägning inför avjämnning.

Genomförande

Ett flertal tester har genomförts som redovisas i rapporten. Slutligen fastställdes vilka mått en givare skall ha för att på ett optimalt sätt fungera bäst och ge stabila mätvärden. Givaren, kallad "FC-givaren", består av stålstift med 6mm diameter på 20mm avstånd, placerade 5 mm ovan underlaget. Mätstiften är placerade i en plexiglasram för infästning i underlaget. Avståndet mellan mätstift och ram är som minst 5cm för att inte störa uttorkningsförloppet i avjämnningen mellan mätstiften. Sladden kan kopplas direkt i mätinstrument (Protimeter Timbermaster) för avläsning.

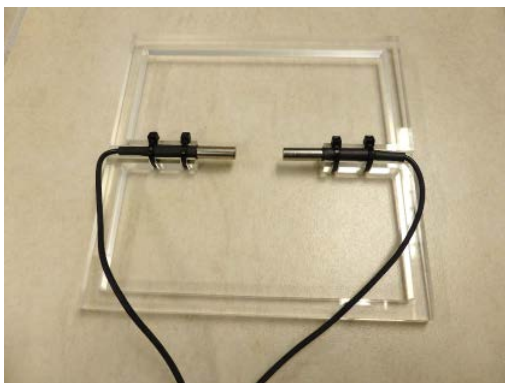


Bild 1: Givare med monterade stålstift mot varandra i en infästningsram, sk "FC-givare".

För att utvärdera resultaten av fuktmätning under uttorkning testades FC-givaren både i laboriemiljö och i fält.

FC-givaren gjöts då in på olika djup i olika tjocka avjämningar. Mätvärdena följdes upp med parallell provtagning enligt GBR-metoden med RF-bestämning i uttagna prov.

Resultat

Samband mellan indikeringsvärde och RF

För att fastställa vad indikeringsvärdet (motståndsvärdet avläst med Protimeter Timbermaster) motsvarar i RF gjordes 16st provformar där FC-givaren gjöts in och förslöts efter olika lång uttorkningstid. Efter 1 månad kunde avläsning ske och RF samtidigt fastställas enligt GBR-metoden i varje provform. Sambandet mellan värdena visas nedan:

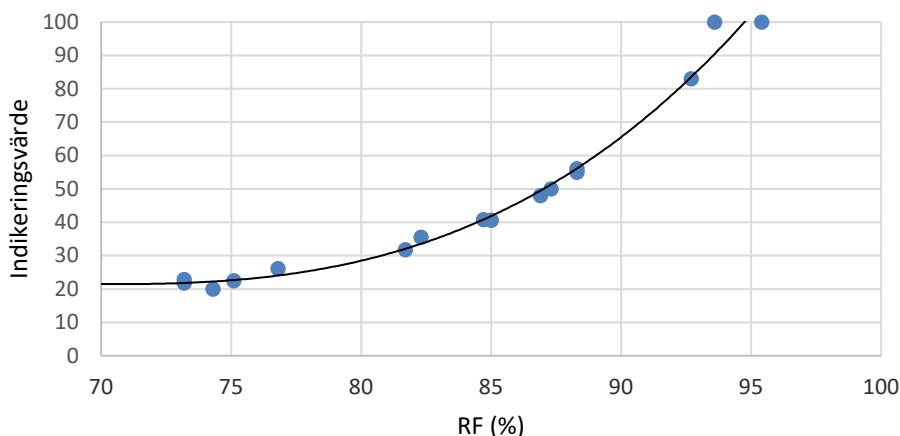


Diagram: Samband mellan indikeringsvärde och RF.

Korrelationen var god och visade ett klart och tydligt samband mellan FC-givarens indikeringsvärde och RF vid uttaget prov enligt GBR-metoden.

Fuktprofil och mätdjup

Under uttorkning uppstår en fuktprofil genom avjämningen som innebär att RF är ca 90-95% RF i botten, samtidigt som ytmaterialet håller ca 70% RF. Detta innebär att avläst mätvärde helt avgörs av det mätdjup som avläsningen sker på. För att mätmetoden skall ge säkrast information om uttorkningsförloppet placerades därför givaren alltid i botten av skiktet, 5mm ovanför underlaget. Mätningen kan även kompletteras på fler mätdjup i syfte att bedöma uttorkningsprofilen.

Utvärdering av mätresultaten visade att FC-givarna som placerades på två nivåer, 5 mm respektive 15 mm över underlaget, överensstämmer med en förväntad fuktprofil och den RF som motsvarar det mätdjup givaren sitter på.

Slutsatser

Resultaten har visat att det är fullt möjligt att utnyttja denna mätmetod, dvs resistiv mätning med ingjutna givare, som indikeringsmätning. Mätmetoden ger möjlighet att på ett enklare sätt mäta vid fler tillfällen och i fler mätpunkter för att få en god uppskattning av RF och hur långt uttorkningen skett. Även möjligheten till fjärravläsning ger goda förutsättningar för bättre kontroll och styrning av fuktmätningar.

Utveckling av mätmetod för trendmätning har visat:

- Givaren måste vara definierad avseende mätstift, avstånd mellan stift osv.
- Korrelationen mellan RF och mätvärden är god för tester i en bestämd avjämningsprodukt.
- Givarens placering 5 mm över botten ger mätvärden som motsvarar RF på detta mätdjup. Placering högre upp ger större osäkerheter pga fuktprofilens lutning.
- I skikt tjockare än 30mm måste givare även placeras högre upp i avjämningen för att uttorkningsförloppet skall kunna följas.
- Underlaget bör tejpas så att inget fuktutbyte sker nedåt som försvårar utvärderingen av resultatet. Utan tätt underlag kan givaren visa hur avjämningen påverkas av underlaget.
- Mätning kan endast ske under uttorkning pga avjämningsens fuktegenskaper avseende hysteres.

Innan den ingjutna givaren kan användas fullt ut krävs det att en metodbeskrivning upprättas som bland annat innefattar vilka mätdjup som skall användas och hur avläsningen av mätvärden skall tolkas på bästa sätt.

Dessutom måste korrelationen mot olika avjämningsprodukter kontrolleras och påverkan av snabba och långsamma temperaturförändringar fastställas.

1 Projektets bakgrund

Syfte

Projektets målsättning är att presentera en metod för trendmätning i avjämningsskikt.

- Trendmätning ger entreprenören chans att styra tidplanen bättre.
- Resultatet av slutmätning blir säkrare, då det finns ett bättre underlag för val av mätpunkter och tidpunkt för mätning.

Nytan med trendmätning är att undanröja tvivel och olika uppfattningar om torktider under entreprenaden som uppstår pga oklar tjocklek i mätpunkt, olika torkklimat i olika delar av byggnaden etc. Resultat från trendmätning ger klarhet i uttorkningsförloppet tidigt och kan fungera oavsett val av produkt.

Metoden skall inte ange ett slutmättningsresultat, utan endast indikera när det tidigast är dags för slutmätning genom uttag av prov enligt GBR:s branschstandard.

Problembeskrivning

Fukttillståndet i avjämnningar måste fastställas före limning av golvbeläggningar om skaderisken skall undvikas. I tidigare SBUF-projekt har det visats att torktiderna för tjocka skikt är längre än vad leverantörerna anger. Dessutom saknas mätmetoder för självtorkande produkter, vilket innebär en ökad skaderisk.

Den mätmetod som framtagits av GBR utifrån tester utförda i SBUF-projekt 11791, kallas "GBR:s branschstandard". Denna syftar till att fastställa ett slutvärde för den relativa fuktigheten (RF) i avjämnningen inför golvläggning genom uttag av prov som hel 35 mm kärna.

Svårigheter uppstår med att kunna mäta vid rätt tillfälle och i rätt mätpunkt vid enstaka slutmätningar. Ett stort behov finns att kunna göra denna slutmätning kostnadseffektivare och säkrare inför golvläggning, genom att kunna följa uttorkningsförloppet med trendmätningar. Trendmätningen måste därför vara enkel, robust och kontinuerlig under torktiden.

- ***Uttorkningsförloppet måste kunna följas av entreprenören på ett tillförlitligt sätt!***

Eftersom tid är pengar inom byggbranschen chansar man i allt för många fall och har inte möjlighet att ändra i tidplanen inför golvläggning då torktider blir längre än förväntat.

Referensgrupp

Medverkande

Projektsökande:	Mattias Gunnarsson, Peab Sverige AB, Göteborg.
Projektledare:	Jörgen Grantén, FuktCom, Lund.
Projekthandläggare:	Nicklas Sahlén, FuktCom, Lund.

Referensgrupp

Utöver medverkande har referensgruppen utökats till följande personer:

Högskolerepresentant:	Magnus Åhs, LTH.
RBK-representant:	Ted Rapp, Sveriges Byggindustrier.
Fuktsakkunniga:	Thomas Linneroth, Monomeet. Daniel Andersson, FuktCom.
Materialtillverkare:	Anders Anderberg, Weber.
Entreprenörer:	Fredrik Gränne, NCC.

Avgränsningar

Endast resistiva mätmetoder testas, eftersom dessa bedöms kunna ge rätt praktiska förutsättningar att användas som trendmätningar.

Mätosäkerhet och felkällor kommer inte att studeras ingående och fastställas.

2 Genomförande

Rapporten redovisar de mätupställningar och tester som genomförts för att visa vad som lett fram till valet av givare och mätmetod. För att underlätta läsningen och förståelsen redovisas dessa enligt följande ”stegindelning”.

Stegvis utveckling av givare och metod

Steg 0: Kunskapsläget

Besvarar: Är resistiv metod en framkomlig väg utifrån tidigare egna försök och andras metoder?

Steg 1: Olika resistiva metoder

Besvarar: Vilken typ av mätstift är bäst? Hur väl kan resultatet ge noggrannhet i RF? Fungerar loggning av mätvärden?

Steg 2: Inverkande mätfaktorer

Besvarar: Vilka faktorer ger stora mätfel som måste minimeras avseende mätstiftens avstånd, mätyta på stift osv?

Steg 3: Olika givartyper

Besvarar: Kan givaren bestå av att mätstiften gjuts in i ett känt material som i sin tur gjuts in i avjämning?

Steg 4: Test av utvecklad ”FC-givare”

Besvarar: Hur väl korrelerar RF i avjämning med avläst indikeringsvärde?

Steg 5: Fältförsök

Besvarar: Hur följer mätvärdena uttorkningsförloppet vid olika mätdjup? Vilka praktiska problem måste lösas?

Steg 6: Laboratieförsök

Besvarar: Vilket mätdjup skall givaren placeras på? Hur tolkas värdena under uttorkning med olika tjocklek? Vad motsvarar avläst värde mot slutvärdet efter omfördelning?

Målet med genomförda tester är att ge ett underlag för en bedömning om mätmetoden är användbar eller ej.

3 Resultat

Mätmetoderna som har testats är alla resistiva, dvs motståndet mäts i materialet mellan två elektroder (mätstift), som läses av som ett "indikeringsvärde" för att sedan omräknas till relativa fuktigheten (RF) i materialet.

Idéer på vilka metoder som testats fanns redan inför projektstart utifrån försökstester som utprovas på FuktCom. Resultaten från tidiga försök har utgjort underlag för ansökan, men det krävdes ett grundligare testförfarande för att verifiera och kunna optimera givaren och mätmetoden.

Steg 0: Kunskapsläge

Egna erfarenheter

Olika fuktmättningsmetoder i avjämningsmassor undersöktes och redovisade i tidigare SBUF-rapport 11791: "Mätmetoder för fuktmätning i avjämningsmassor", daterad 2008-10-30. Rapporten utgjorde underlag för framtagning av GBR:s Branschstandard 2010 för fuktmätning i avjämningsmassor genom uttaget prov av 35 mm borrhälsdjup från topp till botten.

I undersökningen testades även en rad ingjutna givare och borrhålsmätning med kvarsittande givare etc. Resultatet av dessa visade att mätfelet blev stort, uppemot $\pm 15\%$ -enheter för metoder där givare satt ingjutna. Orsaken var främst att de påverkade fuktprofilen i avjämningsmassan intill givaren.

Mätmetoden enligt GBR:s Branschstandard resulterade endast i ett sätt att bestämma RF vid slutmätning inför golvläggning. Eftersom uttorkningen av en normaltorkande avjämningsmassa sker genom att RF ligger högt, kring 98 – 100%, under de första veckorna för att sedan avklinga relativt fort uppstod idén att kunna följa uttorkningsförloppet genom resistiv fuktmätning som även visar uttorkningshastigheten över det hygroskopiska området för RF över 98%. Målet var att få en tidig "Prognos" för hur uttorkningsförloppet fortskrider.

I de tidigare utvecklingsprojekt som utförts åt SBUF har uttorkningen följts av tjocka skikt avjämningsmassa både för normal- och självtorkande avjämningsmassa. De har då visat sig att de initialt uppför sig olika under de första dygnet då vatteninnehållet reduceras genom härdningsprocessen, för att sedan då uttorkningen utgörs av avdunstning betecknas de relativt lika. För att produkterna skall torka ner till kritisk RF för limmade golvbeläggningar vid 85% RF, måste uttorkning ske genom avdunstning före matläggning. Under denna uttorkningsfas från 95 till 85% RF är målet att en resistiv mätmetod ska kunna användas för båda typer av avjämningsprodukter, dvs både för normal- och självtorkande avjämningsmassa.

Andra mätmetoder

Trådlösa instrument

Ingjutna givare för trådlös avläsning har testats som kallas "Humi Control System". Dessa kräver ett noggrant handhavande och är främst avsedda för att upptäcka vattenskador, jämförbart med läckagevakter etc. En fuktsensor gjöts in i upp till 50mm tjock avjämning. Med ett handinstrument avläses fukttillståndet.

Noggrannheten i avläsning var inte tillfredställande vid test och varierade inom 10% RF mellan olika mätpunkter. Orsaken kunde inte fastställas. Mätsensorn kan vara idealisk att montera in under tätskikt och i känsliga konstruktioner för att i efterhand kunna följa och larma om det sker läckage eller förändring av skadlig fukt.



Bild 2: Trådlös avläsning: Humi Control System

Ingjutna sensorer

Weber har utvecklat en kalibreringsfri engångsprodukt, kallad "Floor Screedry", avsedd att gjutas in i golvavjämningssmassa. Fuktindikatorn består av en reversibel sensor placerad i en mätkammare som har ett fönster som är synligt och visar när fuktnivån når godkänt RF. När golvavjämningen når önskad uttorkningsnivå skiftar sensorn färg. Floor Screedry finns anpassad för att mäta vid två olika RF-nivåer, 85% och 90%. Konstruktionen av sensorn är utformad så att den kan användas till olika tjocka avjämningsskikt genom att höjjusteras på plats vid utplacering.



Bild 3: Ingjuten fuktsensor: Weber Floor Screedry

Slutsatser av "steg 0":

För att resistiv metod skall kunna användas i fält och vara tillräckligt säker måste metoden vara robust och ge svar på oklarheter som idag finns kring andra metoder.

Fuktmätning i avjämningsmassor innebär följande svårigheter att ta hänsyn till:

- Tillräcklig mätnoggrannhet.
- Skiktjocklekens variationer.
- Givarens påverkan på torkförloppet i mätpunkten.
- Variationer i torkklimat.
- Olika avjämningsprodukter med olika fukttekniska egenskaper.
- Lämplig tidpunkt för mätning.
- Avläsning under hela uttorkningsprocessen.

Avsikten med en ny resistiv indikeringsmetod är att kunna lösa dessa oklarheter och ge ett säkrare mätresultat.

Steg 1: Olika resistiva metoder

- Vilken noggrannhet ger en resistansmätning?

Test 1: Ingjutna spik i 30 mm avjämnning i fält, manuell avläsning.

Ett träbjälklag som belagts med 22mm råspont, 12mm våtrumsgipsskiva, primer och ett 30 mm normaltorkande avjämningsskikt har följts med resistiv avläsning.

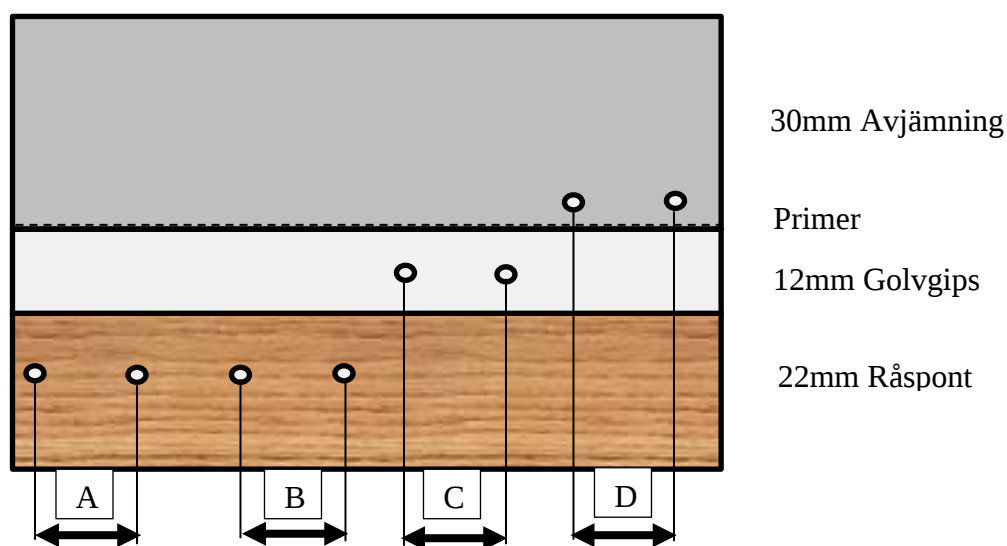


Bild 4: Tvärsektion av golvytskiktens konstruktionsuppbyggnad.

Mätpunkterna har lästs av underifrån ungefär 1 gång per vecka efter avjämning på följande sätt:

- Mätpunkt A: Mitt i råspont med gipsskruv.
- Mätpunkt B: Mitt i råspont med galvad trådspik.
- Mätpunkt C: Mitt i våtrumsgipsskiva med galvad trådspik.
- Mätpunkt D: 5 mm ingjuten i avjämning med galvad trådspik.

Datum	Dygn	A Råspont skruv	B Råspont spik	C Våtrumsgips	D Avjämning
29/9	0	15,0	15,8	26,0	100
30/9	1	14,4	15,1	25,5	100
2/10	3	15,1	15,7	27,0	100
5/10	6	16,1	16,3	29,3	100
15/10	16	16,8	16,5	28,7	100
20/10	21	17,3	17,1	28,2	100
27/10	28	16,2	16,2	24,2	64,5
28/10	29	16,9	16,4	24,0	60,3
30/10	31	16,0	16,1	23,1	52,4
1/11	33	15,8	16,0	22,8	47,6
16/11	48	15,3	14,7	20,4	28,1
22/11	54	13,7	13,9	19,4	24,7
5/12	67	13,4	13,6	19,1	23,3
29/12	91	9,8	10,5	16,5	21,6
11/1	104	9,3	8,7	12,6	18,0

Tabell 1: Avläsning av indikeringsvärde mellan mätpik i trä, gips och avjämning på träbjälklag. Röda värden visar mätresultat efter igångsättning av golvvärme i avjämningen.

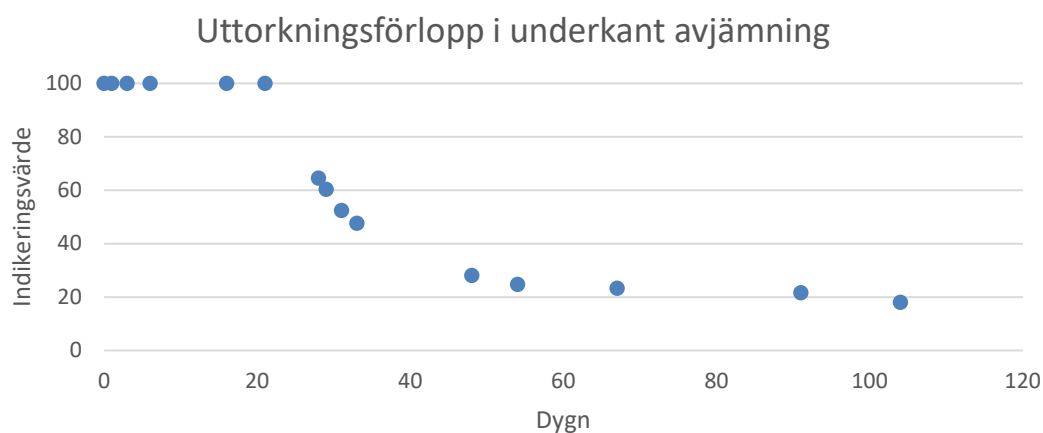


Diagram 1: Indikeringsvärde i avjämningens underkant, kolumn D från tabell ovan.

Resultaten visar att uttorkningen kan följas indikativt genom resistiv mätning i såväl trämaterial, gips som i avjämningen. Mätvärdena måste dock kunna omräknas till ett fukttillstånd för respektive material. Korrelationen mellan mätvärde och fukttillstånd har inte fastställts.

Test 2: Färdigtillverkade mätstift gjöts in i 10, 20, 30, 40 och 50 mm avjämning, kontinuerlig loggning.

Mätstiften placerades ca 5mm ovan plastbackens botten. Loggning pågick under ca 2 månader och följde uttorkningsförloppet i olika tjocka avjämningsskikt.



Bild 5: Injuter i 10, 20, 30, 40 och 50 mm avjämning för kontinuerlig loggning.

Resultaten visade på en relativt jämn uttorkning. Indikeringsvärdena följde förväntade värden i botten, beroende avjämnings tjocklek i respektive avjämningskikt.

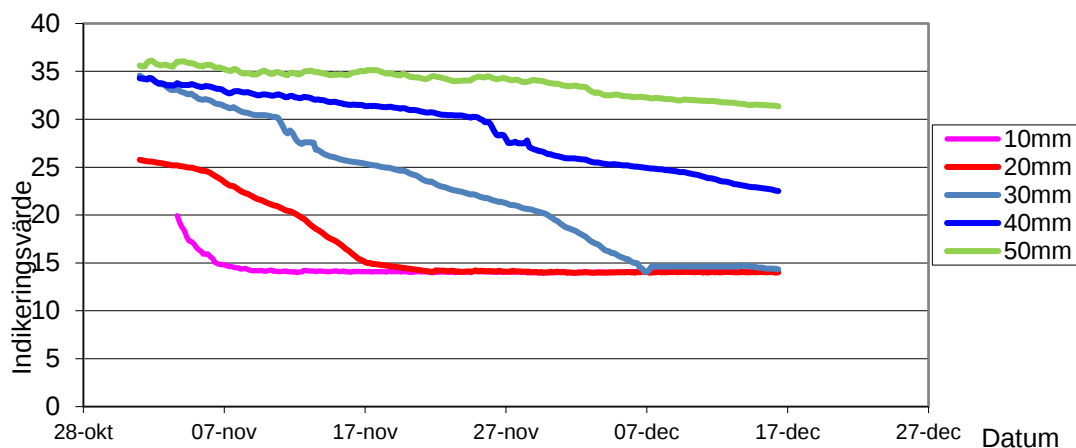


Diagram 2: Loggning av indikeringsvärde för resistiv mätning i olika tjocka avjämningskikt

Ett flertal andra loggningsförsök genomfördes parallellt på olika nivåer i 50mm tjock avjämning för att kontrollera om fuktprofiler kan avläsas. Även tester då en fuktprofil etablerats under uttorkning kunde följas före och efter att ett lock lades på ytan.

Resultat från dessa har inte redovisats då de endast utgjort testuppställningar, men visade en god överensstämmelse med förväntade uttorkningsförlopp och goda möjligheter för loggning av mätvärden.

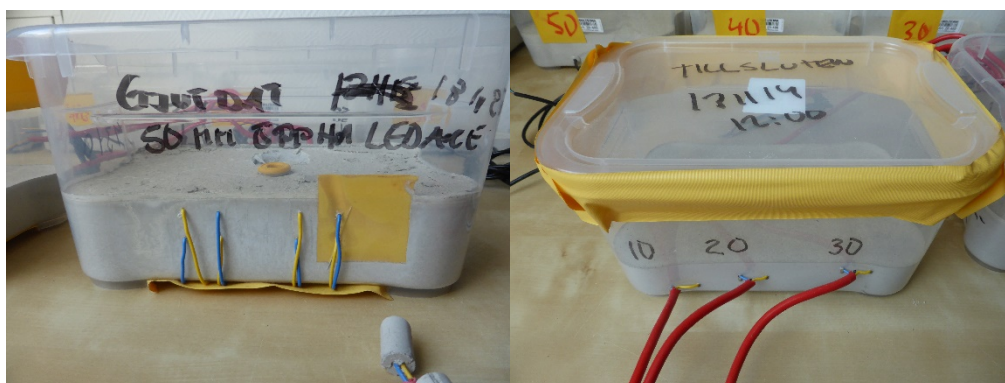


Bild 6 och 7: Ingjutna koppartrådar på olika djup i 50 mm avjämning för kontinuerlig loggning.

Test 3: Ingjutna koppartrådar i ett 3 mm avjämningsskikt klimatiserades i 43 resp 75% RF under 3 månader, manuell avläsning.

I försöket skapades ett stabilt klimat i en kammare med salter där tunna avjämningsar med koppartrådar gjöts in. Syftet med försök med 3 mm avjämning var att kontrollera om ett tunt skikt kan ge stabila indikeringsvärden och hur snabbt mätvärdena i avjämningen kom i jämvikt med omgivande klimat.

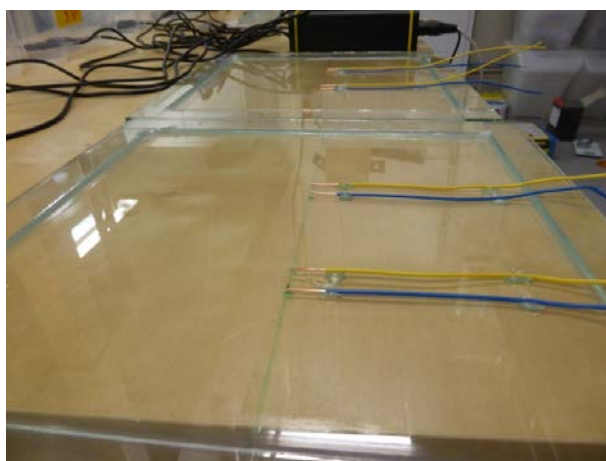


Bild 8: Montering av trådar i en glasform före gjutning av 3 mm avjämning.



Bild 9: Klimatisering av 3 mm avjämningskikt med ingjutna koppartrådar i 43% resp 75% RF med salter, avläsning manuellt.

Resultaten visade på att de olika trådarnas placering i skiktet medförde att mätresultatet varierade. För stabila och lika mätvärden krävs att förhållandena är identiska. Dessutom tog det 3-7 dygn innan avjämnningen klimatiserats så att stabila mätvärden kunde avläsas.

Slutsatser av ”steg 1”:

- Indikeringsvärden vid resistiv mätning ger tillräckligt noggranna värden för att kunna följa uttorkningsförloppet.
- Mätvärdena är stabila och går att logga.
- Avklingningen följer uttorkningsförloppet väl i intervallet RF = 95 – 70%.
- Två parallella mätningar med mätspik och mätstift visar relativt lika värden.
- Koppartrådar verkar visa mer varierande mätvärden.

Steg 2: Koppartrådar

- Hur påverkar olika faktorer mätresultaten vid mätning med koppartrådar?

Försök med koppartrådar har utförts i 3st olika material; normaltorkande och självtorkande avjämnning samt finbetong. Syftet var att jämföra fuktindikeringsvärdet (avläst manuellt med Protimeter Timbermaster) med RF vid uttagna prov.

Provkroppar har gjutits av de tre olika materialen och har förslutits med tätskikt efter olika lång uttorkningstid vid tre tillfällen. Jämförelsemätningen utfördes efter

fuktomfördelning ca 4 veckor efter förslutna provbackar då förväntad RF var ca 95% RF, 85% RF och 75% RF.

Avläsning av indikeringsvärdet har skett ca 1 gång per vecka. Slutligen har en borrhäls tagits ut av materialet för RF-bestämning minst 4 veckor efter att tätskikt lagts.

Försöket syftade till att ge svar på:

- Beroendet av fri trådlängd.
- Beroende av tråдавstånd.
- Beroende av typ av material: normaltorkande eller självtorkande avjämnning samt finbetong.

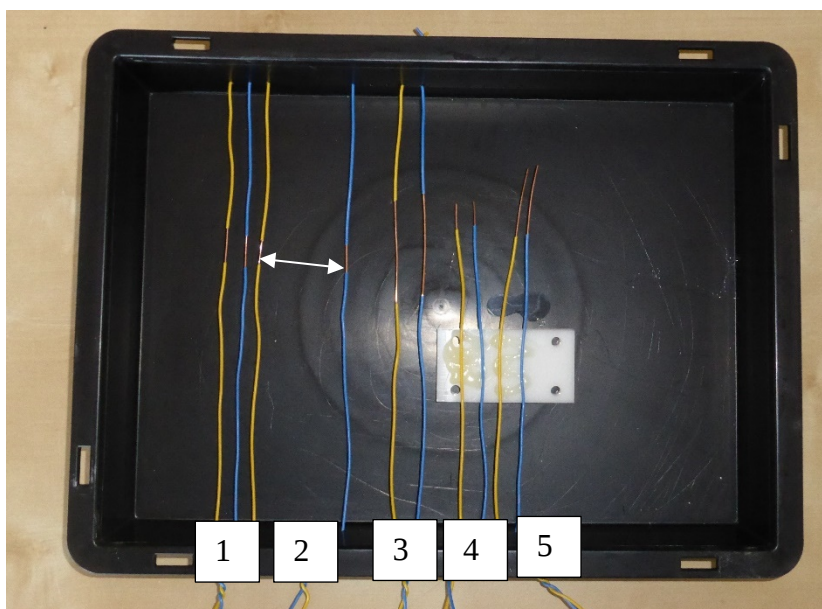


Bild 10: Provbackar som förbereds inför gjutning, med olika fri trådlängd, avstånd etc.

De olika mätserierna redovisas som:

- 1 = Kort avstånd, kort tråd
- 2 = Lång avstånd, kort tråd
- 3 = Kort avstånd, lång tråd
- 4 = Kort avstånd, kort tråd, trådändar
- 5 = Kort avstånd, lång tråd, trådändar

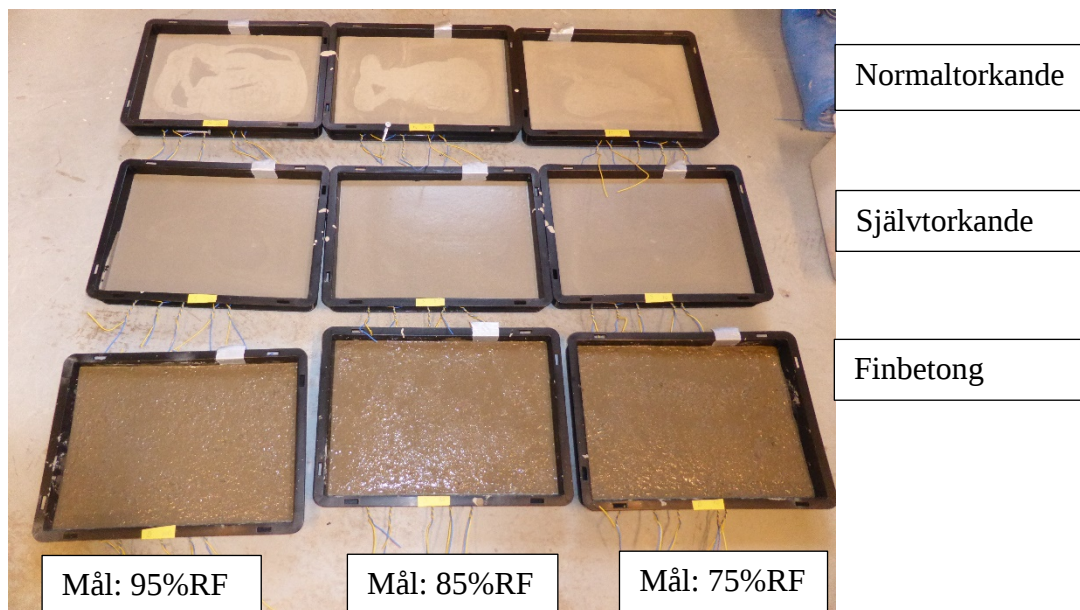


Bild 11: Gjutning av backar med koppartrådgivare i olika utförande. Med mål menas att uttorkning pågick till de enligt prognos torkat till målvärdet, då de förslöts med tätskikt.

Normaltorkande avjämning															
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
16/3	G	J	U	T	N	I	N	G	S	D	A	G	E	N	-
23/3	43	40	87	61	100	50	50	70	74	100	100	100	100	54	54
31/3	46	41	85	54	86	27	29	28	45	58	75	50	80	31	30
7/4	49	41	82	51	83	17	24	17	32	41	45	37	47	24	23
13/4	49	41	86	51	83	13	17	13	26	29	36	28	35	17	14
20/4	50	41	86	51	79	17	18	18	25	27	26	24	24	13	12
27/4	50	41	68	49	76	17	18	19	24	26	21	19	16	11	10
4/5	50	41	80	49	76	17	18	19	24	27	15	14	13	11	10
11/5	48	41	78	48	74	17	18	19	24	26	14	11	11	9	9
25/5	48	41	78	48	74	17	18	19	24	26	12	11	10	10	9
26/6	47	40	74	46	68	16	17	18	23	25	12	11	12	10	10
11/1	33	31	51	40	49	14	15	16	20	22	12	11	12	10	10
Mål	Ca 95%					Ca 85%					Ca 75%				

Självtorkande avjämning															
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
16/3	G	J	U	T	N	I	N	G	S	D	A	G	E	N	-
23/3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
31/3	100	100	100	100	100	100	95	100	100	100	100	100	100	100	100
7/4	100	100	100	100	100	82	58	100	100	100	98	77	100	100	100
13/4	100	100	100	100	100	50	45	99	73	99	66	55	100	87	100
20/4	100	100	100	100	100	49	43	99	59	98	46	42	98	51	100
27/4	100	100	100	100	100	47	42	99	55	99	34	31	61	43	60
4/5	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11/5	100	100	100	100	100	46	41	98	54	99	24	21	38	30	41
25/5	100	100	100	100	100	46	40	98	51	91	15	14	26	24	28
26/6	100	100	100	100	100	42	38	87	49	76	14	16	26	24	27
11/1	94	73	100	100	100	32	29	50	36	44	14	15	24	22	24
Mål	Ca 95%					Ca 85%					Ca 75%				

Finbetong															
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
16/3	G	J	U	T	N	I	N	G	S	D	A	G	E	N	-
23/3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
31/3	91	100	100	100	100	100	98	100	100	100	48	66	100	82	100
7/4	86	100	100	100	100	72	63	100	81	100	39	49	100	53	91
13/4	91	100	100	100	100	55	51	100	67	100	34	43	100	44	63
20/4	75	100	100	100	100	54	48	100	57	100	29	37	86	39	49
27/4	67	100	100	100	100	54	47	99	57	99	27	31	58	32	42
4/5	72	100	100	92	100	56	48	100	54	98	26	29	52	30	38
11/5	61	100	100	85	100	58	50	99	56	98	25	27	44	28	35
25/5	61	88	100	85	100	56	49	99	54	98	24	25	40	26	29
26/6	49	68	100	61	100	49	44	99	48	98	25	26	40	27	32
11/1	31	40	60	38	78	34	31	54	34	48	23	24	34	24	27
Mål	Ca 95%					Ca 85%					Ca 75%				

Tabeller 2-4: Ovan redovisas avläsningsresultat för 9st provformar med olika avstånd och längd på koppartrådar. Gråmarkerade fält är datum då tätskikt lades.

Utvärderingen av ovanstående försök har visat att både avstånd, mätdjup och längd på koppartråd har avgörande betydelse för indikeringsvärdet.

Uttorkningen kan följas i respektive back, men tolkningen och jämförelsen mellan olika metoder är dålig då mätfelet bedöms vara för stort. Ett flertal fall visar att:

- Längre avstånd mellan trådarna ger lägre värde.
- Längre koppartrådar ger högre mätvärde.

Logiska slutsatser då resistansen påverkas, men det är tydligt att mätfelen blir relativt stora. Det betyder att den givare som används måste ha exakta mått och kalibreras noga mot aktuell RF.

Slutsatser av ”steg 2”:

Testerna med koppartrådar i olika produkttyper visade:

- Mätrådarnas placering i höjdlid kräver exakt lika mätdjup för att jämföras.
- Mätrådarnas avstånd och storlek ger olika indikeringsvärden.
- Olika produkter ger resultat inom samma mätområde, men har ej kunnat jämföras inbördes med varandra.

Steg 3: Gjuten givare

- Kan en givare tillverkas av avjämning med ingjutna koppartrådar?

Syftet med denna givartyp var att testa egenskaperna för en förtillverkad givare där kontaktytan på koppartrådarna alltid ligger i ett känt, utprovat och kalibrerat material.

Givaren skall sedan ställa in sig i fuktjämvikt med omgivande material, dvs i den avjämning den gjuts in i.

Givare med ingjutna koppartrådar i normaltorkande avjämning gjöts som sedan fick torka i rumsklimat under 1 vecka. De gjutna givarna gjöts sedan in i en 25 mm avjämning med kontinuerlig loggning av indikeringsvärdet.



Bild 12 och 13: Tillverkade "testgivare" av koppartråd i avjämningskropp tv. Förberedda inför ingjutning i back th.



Bild 14: Förtillverkade "testgivare" ingjutna i olika typer av avjämnningar för loggning av indikeringsvärden.

Slutsatser av "steg 3":

- Loggning följer avjämningsens uttorkning väl, dock "okalibrerat".
- Två lika givare visar lika värden.
- Igjutning i olika typer av avjämnning visar stora skillnader i resultat.
- Tester över salter visade inte stabila värden, sannolikt tar testgivaren lång tid att klimatiseras över salt, motsvarande 1 månad.

Steg 4: "FC-givare" – Stålstift i ram

- Vilka parametrar skall låsas för att ge stabila indikatorvärden?

Utifrån alla tester med olika utformning av givare har vi tagit fram en egen givare som uppfyller följande krav:

- Bestämd kontaktyta på stiften mot avjämningen, Ø 6mm.
- Bestämt avstånd mellan stiften, 22 mm.
- Bestämd höjd över underlaget, 5 mm.
- Helt orörd avjämning mellan mätstiften.
- Givarens ram/hållare på minst 5 cm avstånd från mätområdet för att inte påverka fuktprofilen i mätområdet, yttermått 145 mm.
- Infästningsram som ligger plant på underlaget för enkel infästning.
- Sladd med kontakt för avläsning direkt i instrumentet.

Viktigast av ovanstående är att mätstift och avstånd är fixerade och att uttorkningen i mätområdet inte påverkas av givaren. I tidigare försök har det visat sig att fuktprofilen påverkas av material som gjuts in och gör att avjämningen blir tunnare här.

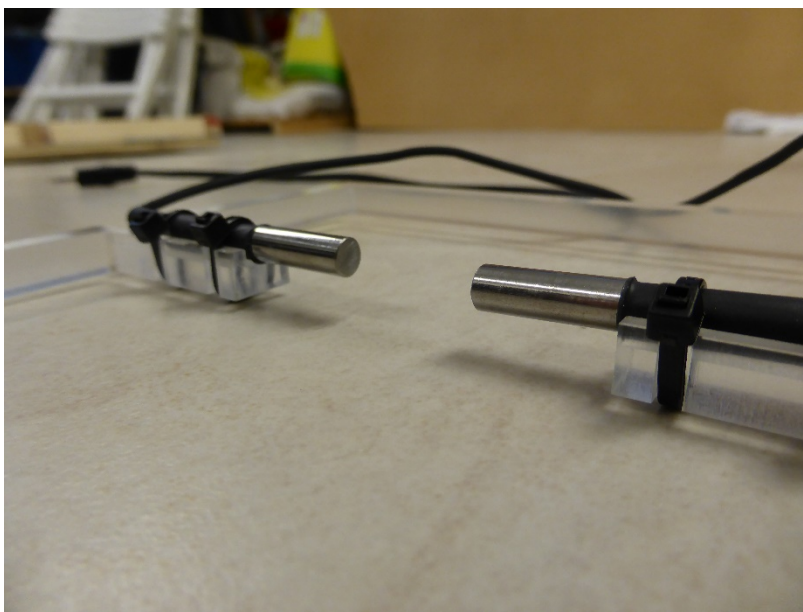


Bild 15: "FC-givare" med exakta mått mellan mätstiften.

- Hur korrelerar RF med "FC-givaren"?

För att upprätta en kalibreringskurva mellan avläst indikeringsvärde och RF vid uttaget prov enligt GBR:s Branschstandard har 16st FC-givare gjutits in i 25 mm avjämning som belagts med tätskikt efter uttorkning med ökande antal dagar.

En form tillverkades med 16st fack som skall erhålla olika RF och med två större fack för att kontrollera överensstämmelsen mellan två givare.

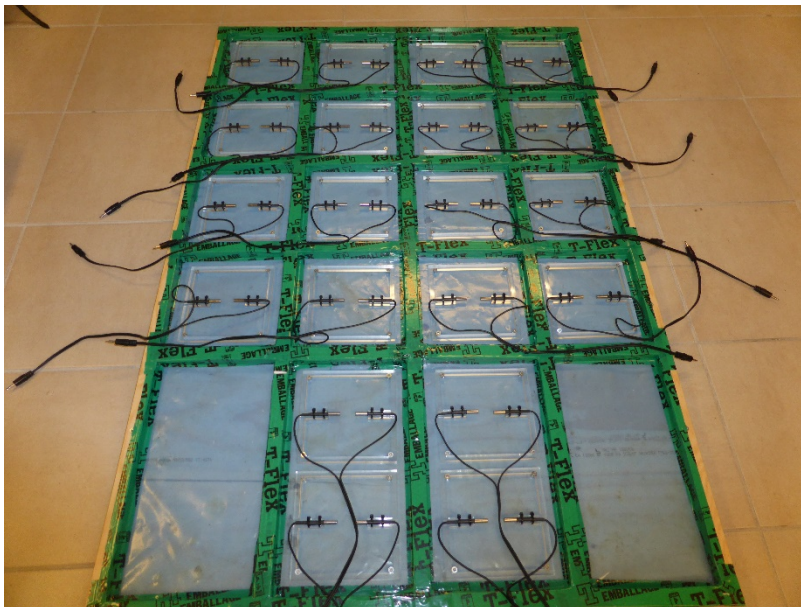


Bild 16: Hela försökssupställningen före gjutning.

Varje fack var ca 20 * 20 cm och tätades i botten och kanter med dubbel 0,2mm plastfolie och tejp. Normaltorkande avjämnning gjöts i ett 25 mm skikt. Därefter applicerades ett tätskikt på varje fack med ca 2 dygns mellanrum.



Bild 17: FC-givare monterad i ett fack.

Sista tätskiktet applicerades den 23 augusti och uttagna prov för bestämning av RF togs den 19 oktober, dvs nästan 2 månader senare för att fuktomfördelning inom facket skulle hinna ske och stabiliseras. Under denna tid sjönk indikatorvärdet med mellan 5 och 10% för samtliga fack, vilket sannolikt kan förklaras av att fukt från det undre skiktet där givaren är placerad förflyttades till det övre skiktet vid fuktomfördelning.

Datum	Dagar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
18-jun	0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
20	2	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
22	4	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
24	6	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
26	8	90	90	90	67	76	78	79	81	87	82	88	78	68	83	85	79
28	10	90	90	90	65	66	67	67	69	75	70	75	67	59	70	71	68
30	12	90	90	90	64	64	58	59	61	65	61	64	59	51	60	62	60
02-jul	14	90	90	90	65	64	58	52	54	58	54	57	52	45	54	55	53
4	16	90	90	90	65	65	59	53	48	51	48	50	46	40	47	49	48
6	18	90	90	90	66	65	59	54	49	47	43	46	42	37	43	45	44
8	20	90	90	90	66	65	59	53	49	47	39	42	39	34	39	41	40
12	24	90	90	90	64	63	57	51	47	45	39	34	32	29	32	33	33
14	26	90	90	90	65	64	59	52	48	46	40	35	31	27	30	32	32
16	28	90	90	90	62	62	57	51	46	44	38	34	28	25	28	29	29
18	30	90	90	90	63	63	57	50	46	44	38	34	28	24	26	27	27
25	37	90	90	88	63	61	56	50	45	44	38	33	28	24	23	24	24
01-aug	44	90	90	87	61	61	54	49	44	43	37	33	28	24	23	22	22
8	51	90	90	89	63	62	56	50	45	44	38	33	28	24	23	22	22
16	59	90	90	89	62	61	55	50	45	44	38	33	28	24	24	22	21
23	66	90	90	89	63	62	56	50	45	44	38	34	28	24	24	23	20
28	71	90	90	90	66	66	60	54	48	47	40	36	29	25	24	23	21
08-sep	82	90	90	88	62	62	54	50	44	43	37	33	27	24	23	22	20
18	92	90	90	88	64	64	56	52	46	45	38	34	28	24	24	23	21
22	96	90	90	87	60	59	53	49	43	43	37	32	27	23	23	22	20
30	104	90	90	85	60	59	53	49	43	42	37	33	27	23	23	22	20
19-okt	123	90	90	83	56	55	50	48	41	41	36	32	26	23	22	22	20

Tabell 5: Avläsning med indikator av alla 16 fack. Fetmarkerade värden är de tillfällen då tätskikt applicerades i facket. Sista raden är indikeringsvärdet vid bestämning av RF.

Den 26 augusti transporterades mätförsöket från en miljö i ca 20°C till ca 25°C. Denna förändring visar sig i att indikeringsvärdet ökade med 1-4 enheter. Den 18 september flyttades mätförsöket till en temperaturstabil lokal med 20°C ±1°C. Under de två sista veckorna före provtagning den 19 oktober var indikeringsvärdet stabilt (±1 enhet). Temperaturförändringar verkar påverka indikeringsvärdet, vilket måste studeras vidare.

Jämförelse mellan indikeringsvärde och RF gav följande:

	Indikeringsvärde	RF Kalibrerat (%)	RF inkl mätfel +2,1%
Fack 1	90	95,4	97,5
Fack 2	90	93,6	95,7
Fack 3	83	92,7	94,8
Fack 4	56	88,3	90,4
Fack 5	55	88,3	90,4
Fack 6	50	87,3	89,4
Fack 7	48	86,9	89,0
Fack 8	41	84,7	86,8
Fack 9	40	85,0	87,1
Fack 10	36	82,3	84,4
Fack 11	32	81,7	83,8
Fack 12	26	76,8	78,9
Fack 13	23	73,2	75,3
Fack 14	22	75,1	77,2
Fack 15	22	73,2	75,3
Fack 16	20	74,3	76,4

Tabell 6: Jämförelse mellan indikeringsvärde och RF från uttagna prov.

Vid avläsning och redovisning i tabellen ovan är det högsta indikeringsvärdet = 90. Handavläsningsinstrumentet skall normalt visa 100 vid fullt utslag, men på grund av instrumentfel visar det endast 90 vid fullt utslag. I diagrammen nedan har indikeringsvärden 90 redovisats som 100, då detta är mera korrekt.

(Kommentar till instrumentfel: Instrumentet är kalibrerat för fuktkvot för trä mot kalibreringsbleck med 4 olika fuktkvoter mellan 12 och 25% fuktkvot. Instrumentet visar korrekta värden vid denna kalibrering, vilket visar att det bara är värdet vid fullt utslag som är felaktigt. Felet har konstaterats gälla för ett enskilt instrument och är därmed inte generellt för typen av instrument.)

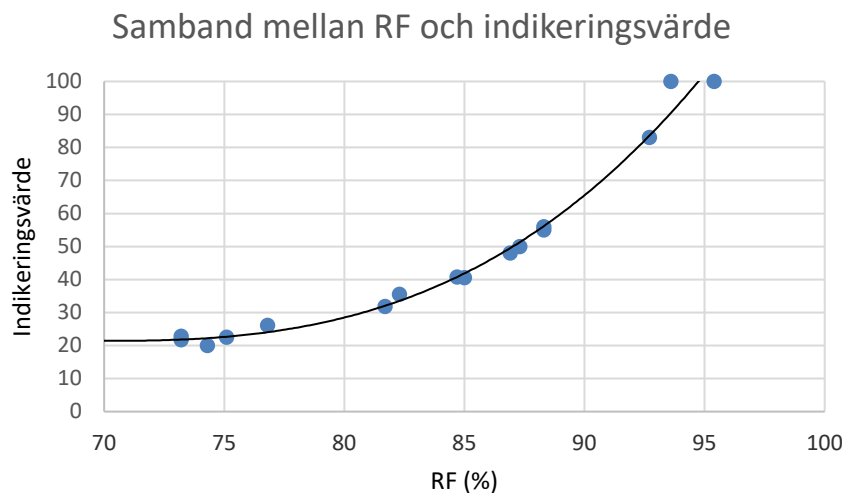


Diagram 3: Samband mellan relativ fuktighet (RF) i uttagna prov mot avläst indikeringsvärde med "FC-givare".

Av trendlinjen framgår att indikeringsvärdena följer kurvan mot uppmätt RF i uttagna prov relativt väl. Med hänsyn till att avläsningen av RF i fuktlaboratorie har ett mätfel på $\pm 2,1\%$, bedöms samvariationen vara god då inget mätvärde avviker från kurvan med mer än ca 2% RF enligt diagram 3.

I mätområdet 90 till 100% RF saknas tyvärr mätpunkter och det kan konstateras att redan vid ca 93,6% RF visar indikeringsmätaren fullt utslag. I mätområdet 80 till 90% RF finns det 8 mätpunkter som följer trendlinjen väl enligt diagram 4.

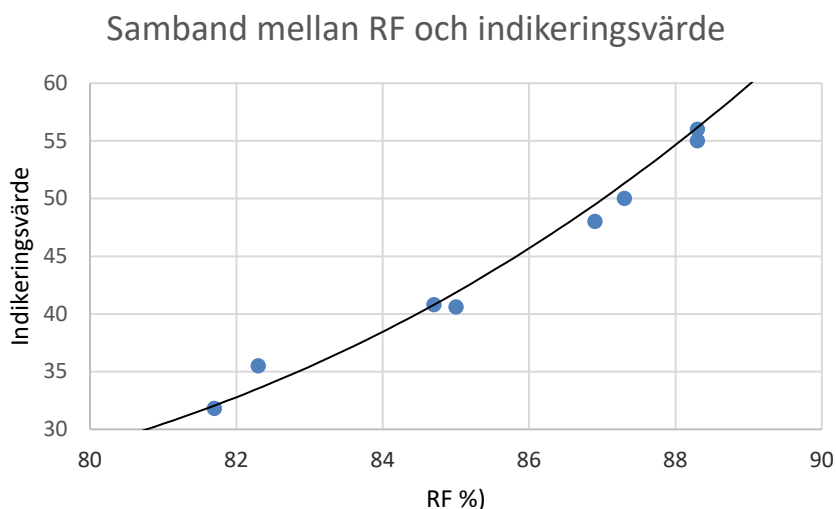


Diagram 4: Samband mellan relativ fuktighet (RF) i uttagna prov mot avläst indikeringsvärde med "FC-givare" i området 80 till 90% RF.

Slutsatser av ”steg 4”:

- Indikeringsvärdets mätområde verkar vara begränsat till <95% RF.
- En givares mått måste vara bestämda för att stabila och jämförbara indikeringsvärden skall erhållas, så att en kalibreringskurva kan upprättas.
Följande mått måste vara fastställda:
 - o Avstånd mellan mätstiften.
 - o Höjd över underlaget.
 - o Storlek på mätstift.
 - o Avstånd till infästningsram.
- Framtagen ”FC-givare” ger stabila och kalibrerbara värden.

Steg 5: Fältförsök

- Vilket mätdjup är optimalt?

Fuktprofilen antas påverka givarens indikeringsvärde under uttorkning, då indikeringsvärdet motsvarar RF på en exakt nivå. Sannolikt styrs indikeringsvärdet av den punkt på givarens mätstift som har den bästa ledningsförmågan, vilket innebär att RF avläses i underkant av mätstiftet. Givaren har vid fält- och laboratiemätningar placerats i botten, närmare bestämt 5 mm ovan tätt underlag, oavsett avjämningens tjocklek.

Underlag för detta val har varit tidigare erfarenheter av mätningar som visat:

1. Ekvivalent mätdjup har visat sig ligga någonstans mellan 40 och 60% av mätdjupet, är inte exakt fastställt och varierar sannolikt mellan olika avjämningssprodukter.
2. Avjämningens skiktjocklek varierar alltid, vilket gör att ett ekvivalent mätdjup aldrig kan användas då skiktjockleken inte är bestämd.
3. Placering av givaren högre upp på ett ”ekvivalent” mätdjup innebär ökad osäkerhet beroende på avjämningens tjocklek i mätpunkten och fuktprofilens lutning.
4. Avjämningens tjocklek ovanför mätstiften bör vara så stor som möjligt eftersom ett för tunt skikt ger snabbare uttorkning vid givaren.
5. Placering av givaren i botten innebär att avjämningens uttorkning genom avdunstning från ytan visas först då uttorkningen når ner i bottenskiktet.
6. Om underlaget är uttorkat till <85%, påskyndas uttorkningen i avjämningens bottenskikt. För att undvika denna osäkerhet har underlaget under givaren förseglats före montering av givare.

- Vilka indikeringsvärden erhålls under uttorkning i fält?

För att testa FC-givaren i verkliga förhållanden i fält har givare gjutits in av 35-40 mm avjämning i en nybyggd skola.

På underliggande betong har vattenburen golvvärme och rostfri nätarmering lagts som skall gjutas in i avjämningen, se foto.

För att placera givarna på betongytan har armeringen klippts upp. Givare har monterats dels 5mm över betongytan, dels 10 mm över betongytan på tätskikt. Dessutom placerades en givare 5 mm över betongytan utan tätskikt. Två liknande mätställen valdes ut inom samma lokal på ca 10m avstånd.

Avläsning av givare och uttag av RF-prov enligt GBR:s Branschstandard gjordes var 14:e dag. Vid avläsning erhålls indikeringsvärdet direkt på plats. Detta kan omvandlas till en "uppskattad RF" enligt den kalibreringskurva som tagits fram tidigare, då RF jämfördes mot indikeringsvärde under stabila laboratorieförhållanden.

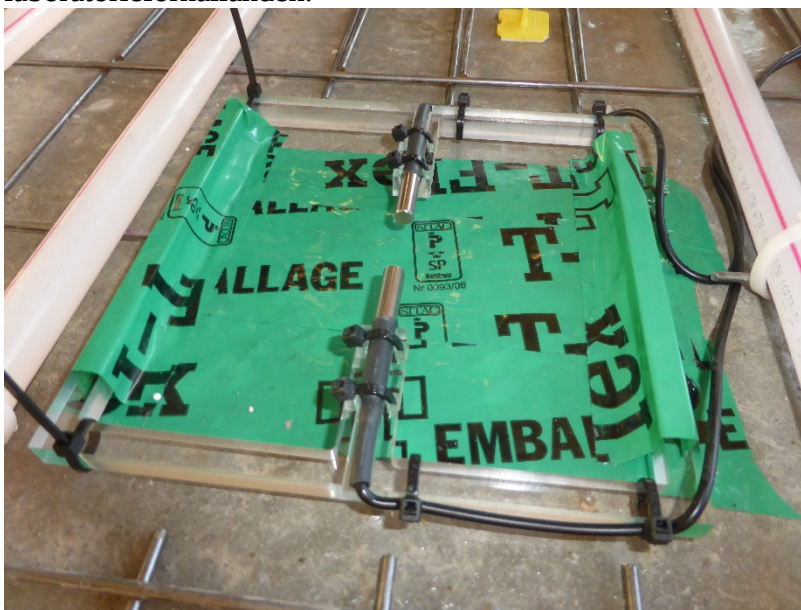


Bild 18: Närbild av givare i fält. Underlaget har tätats med byggtejp för att undvika påverkan av underlaget. Armeringen har klippts bort. Slangarna till höger och vänster i bild är golvvärme som inte varit i drift under uttorkningen.

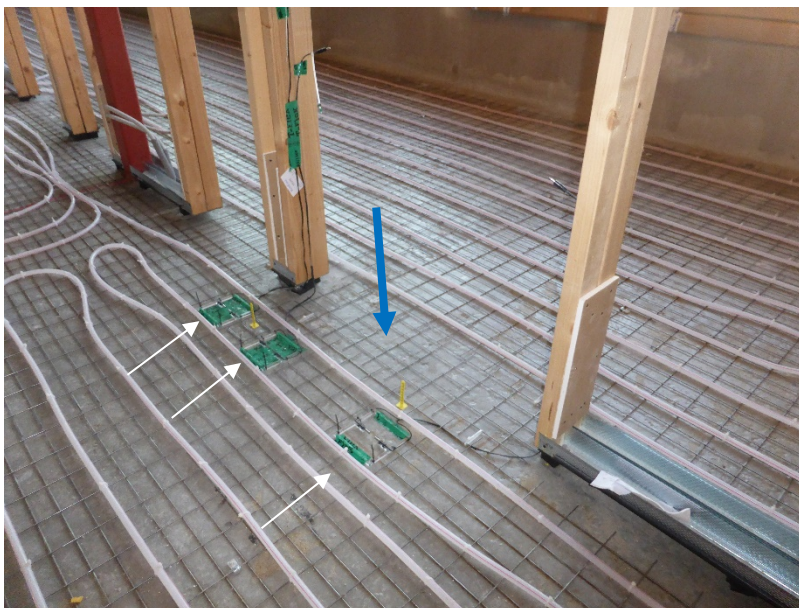


Bild 19: FC-givare monterade vid vita pilarna. Golvvärmen har inte varit i drift under uttorkningen. Uttagna prov har tagits i området i dörröppningen enligt blå pil.

	2v	4v	6v	8v
<u>Mät punkt A: Tjocklek= 37mm</u>				
RF uttaget:	98%	92%	79%	75%
A1: 5mm	90 (>95%)	90 (>95%)	39 (84%)	27 (78%)
A2: 10mm	90 (>95%)	90 (>95%)	40 (84%)	27 (78%)
A3: Ej tejp	90 (>95%)	90 (>95%)	63 (90%)	42 (85%)
<u>Mät punkt B: Tjocklek= 40mm</u>				
RF uttaget:	98%	96%	84%	80%
B1: 5mm	90 (>95%)	90 (>95%)	90 (>95%)	62 (89%)
B2: 10mm	90 (>95%)	90 (>95%)	90 (>95%)	90 (>95%)
B3: Ej tejp	90 (>95%)	90 (>95%)	90 (>95%)	90 (>95%)

Tabell 7: Resultatjämförelse mellan avläst indikatorvärde och RF vid uttaget prov i fält. Värden inom parentes motsvarar omvandling av indikeringsvärde till "uppskattad RF".

Av ovanstående mätdata kan utläsas att uppskattad RF med indikeringsmätning ger en något högre RF än resultat vid uttag av hel borrhärd. Mätvärdet från givaren visar RF i botten av avjämningen, dvs RF 5-10 mm över betongytan.

- Indikeringsmätning i botten av avjämnningen, dvs 5 och 10 mm över betongytan, ger ett högre RF med avläsning med FC-givaren.
- När FC-givaren visar <65, vilket motsvarar ca 90% uppskattad RF (vid omvandling från indikeringsvärde till RF), är RF <80% vid uttaget prov av hel borrhäna.

Slutsatser av ”steg 5”:

Indikeringsmätning på botten av avjämnningen, dvs 5 och 10 mm ovan betongytan för en ca 40mm tjock avjämnning, visar högre värden vid omvandling till ”uppskattad RF” än vad uttaget prov av hel borrhäna visar. Detta innebär:

- Trendmätning, som endast utförs med resistiv mätning i bottenskiktet, har visat sig vara en dålig metod att tidigt kunna följa uttorkningsförloppet med. Anledningen är att avjämnningens ”max” RF avläses.

För att kunna utföra trendmätningar som följer uttorkningsförloppet i avjämnning tjockare än 30mm måste givare placeras högre upp i avjämnningsskiktet, lämpligen på halva skiktjockleken. Förslagsvis för:

- 30 mm avjämnning placeras givare 15mm upp ovan underlaget.
- 40mm avjämnning placeras givare 20mm ovan underlaget.
- Mätvärdet 5mm ovanunderlag anger ett ”botten-värde” som alltid ligger på säkra sidan, dvs visar för hög RF.

Mätning högre upp ökar dock osäkerheten väsentligt, eftersom fuktprofilens lutning (skillnad i RF på olika mätdjup) ökar. Det har även visat sig att ett avjämnningsskikt på minst 10mm måste täcka givaren för att inte ge tydliga mätfel pga snabbare uttorkning kring givaren.

Steg 6: Laboratieförsök

Tester i laboratoriemiljö utfördes parallellt med fältförsöken och FC-givarna placerades därför på liknande sätt 7 mm (ej 5mm pga att infästningen ökade avståndet med 2mm ytterligare) och 15 mm ovan tätt underlag. I laboratoriemiljö har torkklimatet varit stabilt och olika tjocklek på avjämnning har använts enligt följande:

- Formar med 20, 30, 40 och 50 mm normaltorkande avjämnning.
- Dubbla FC-givare på 7 respektive 15 mm avstånd från underlaget.
- Avläsning och provtagning har utförts med 1 veckas mellanrum.

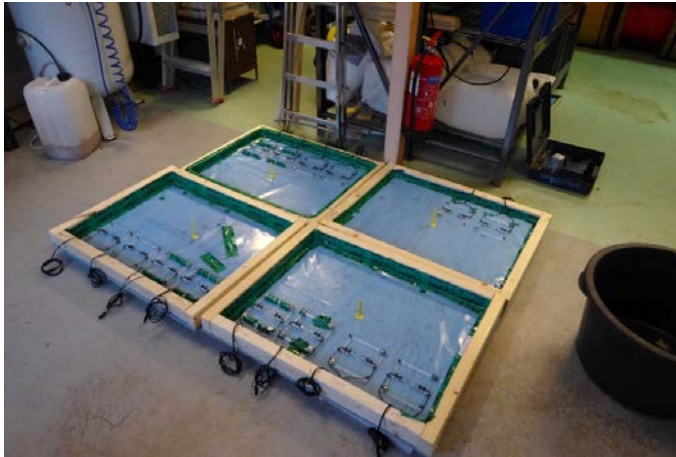


Bild 20: 4st formar på laboratorie med 4st FC-givare per form, som skall gjutas in i olika tjock avjämning.



Bild 21: Närbild av FC-givare på underlag av plastfolie före gjutning.

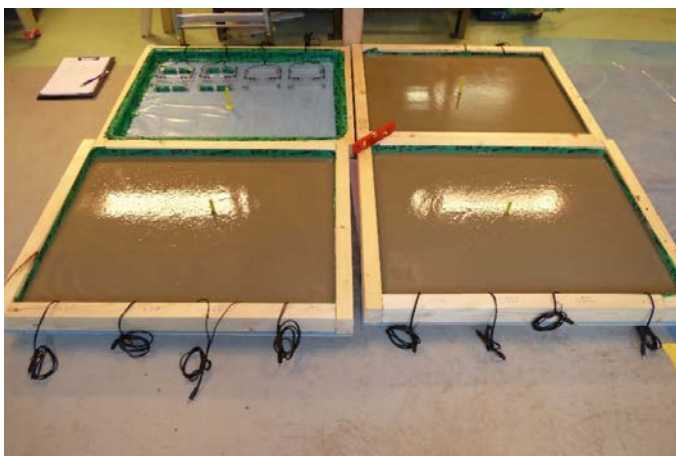


Bild 22: Gjutning pågår.

Mätresultat

FC-givarnas placering i bottenskiktet innebär att mätdjupet beräknat till underkant mätstift varierar enligt nedanstående tabell:

	Mätstift 7 mm distans Mätdjup från ytan i %	Mätstift 15 mm distans Mätdjup från ytan i %
Avjämning 20mm	65%	-
Avjämning 30mm	77%	50%
Avjämning 40mm	82%	62%
Avjämning 50mm	86%	70%

Tabell 8: FC-givarens mätdjup i procent från ytan beräknat från underkant av mätstift.

Uttorkningsförloppet

I nedanstående diagram redovisas uttorkningsförloppet genom uttag av prov enligt GBR-metoden. Resultaten har redovisats utan tillägg för mätfel vid laboratoriebestämning av RF som normalt är 2,1%. Orsaken är att RF ska jämföras med FC-givarens indikeringsvärden.

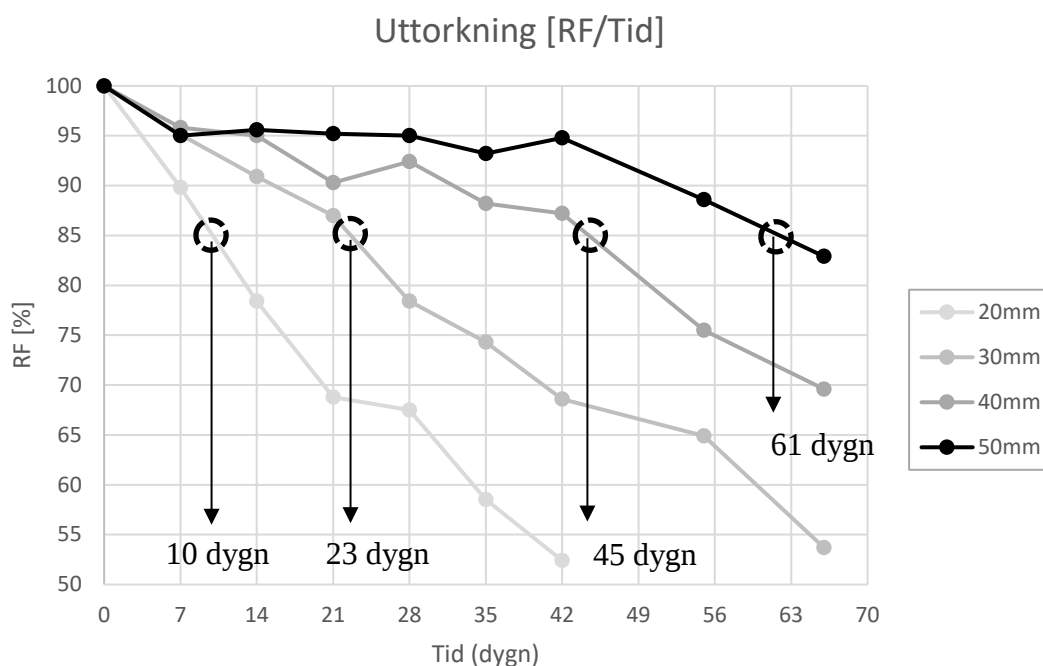


Diagram 5: Uttorkningskurvor för de olika tjocka avjämningarna utifrån uttaget prov enligt GBR-metoden (utan tillägg för mätfel på 2,1%).

Avläsning av indikeringsvärdet från alla 4 FC-givare per gjutform gjordes samtidigt som uttaget prov togs enligt GBR-metoden.

Jämförelse mellan indikeringsvärden och uttagna prov

I nedanstående diagram har avlästa indikeringsvärden redovisats mot det RF som uttaget prov visar under uttorkning vid provtagning med 1 veckas mellanrum. Syftet med diagrammen nedan är följande:

- Kontrollera överensstämmelsen mellan två FC-givare på samma mätdjup.
- Jämföra skillnad i indikeringsvärde mellan 7 respektive 15 mm mätdjup.
- Jämföra avläst indikeringsvärde mot uttaget RF-prov.

Den senare jämförelsen mot RF som uttaget prov är inte korrekt, eftersom uttaget prov är RF i en hel borrkärna från topp till botten, medan indikeringsvärdet är på ett bestämt mätdjup som inte är detsamma som ekvivalent mätdjup (med "ekvivalent mätdjup" menas det mätdjup där RF motsvarar RF efter fuktprofilens fuktomfördelning då golvbeläggning lagts).

I diagrammen nedan sitter underkanten på mätstiften för "a" och "b" placerade 7mm ovan botten. För "c" och "d" är mätstiften placerade på 15mm avstånd ovan botten.

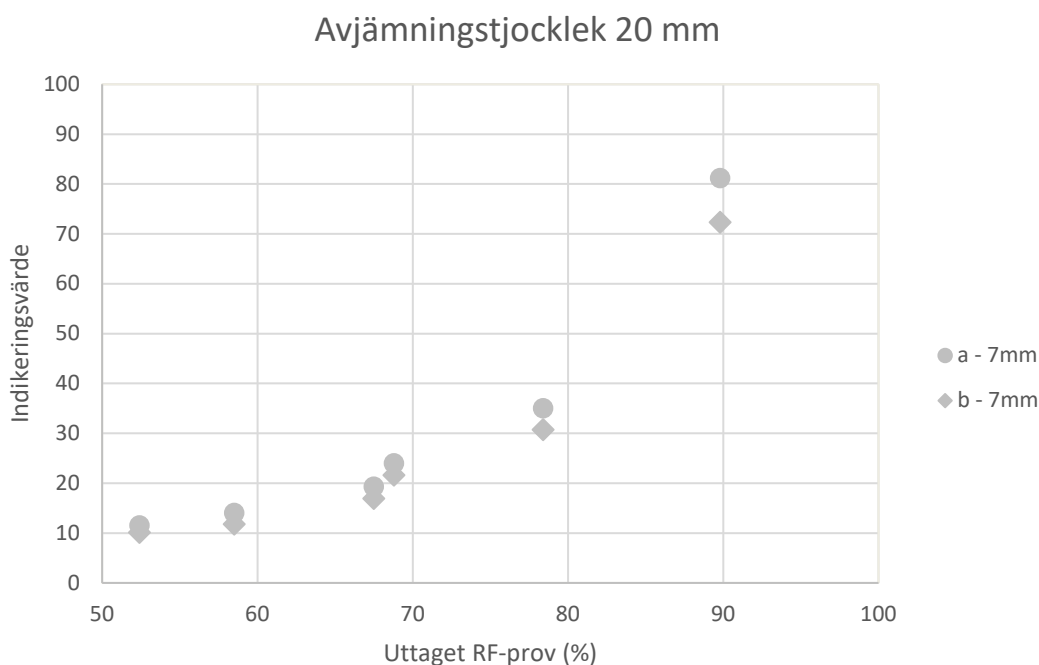


Diagram 6: Indikeringsvärde mot uttaget RF-prov (utan tillägg för mätfel på 2,1%) för avjämningsjocklek 20mm.

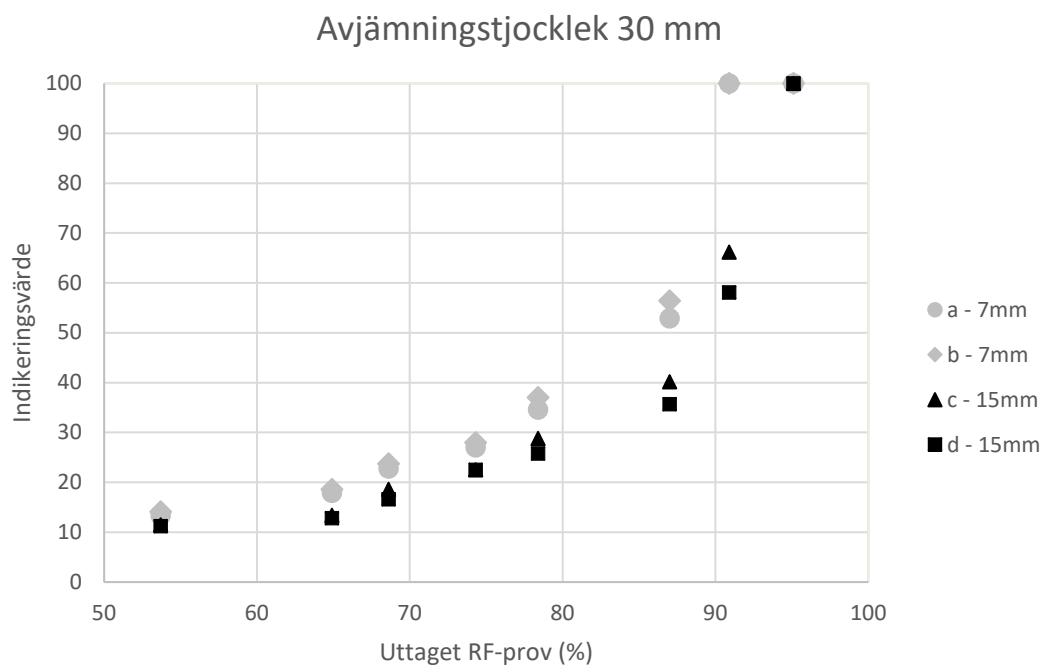


Diagram 7: Indikeringsvärde mot uttaget RF-prov (utan tillägg för mätfel på 2,1%) för avjämningsjocklek 30mm.

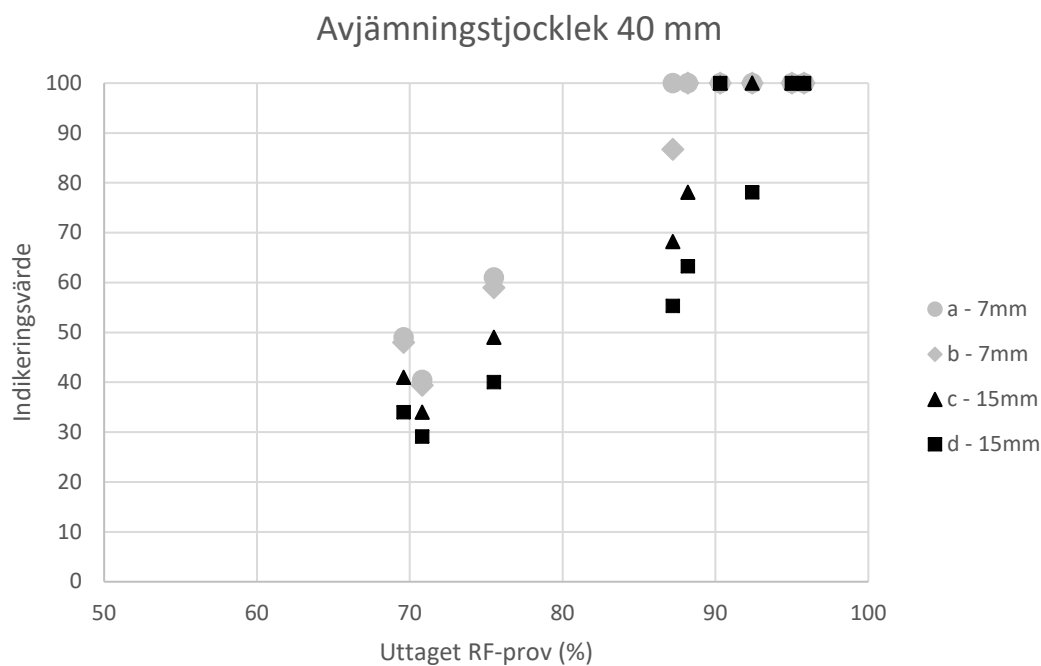


Diagram 8: Indikeringsvärde mot uttaget RF-prov (utan tillägg för mätfel på 2,1%) för avjämningsjocklek 40mm.

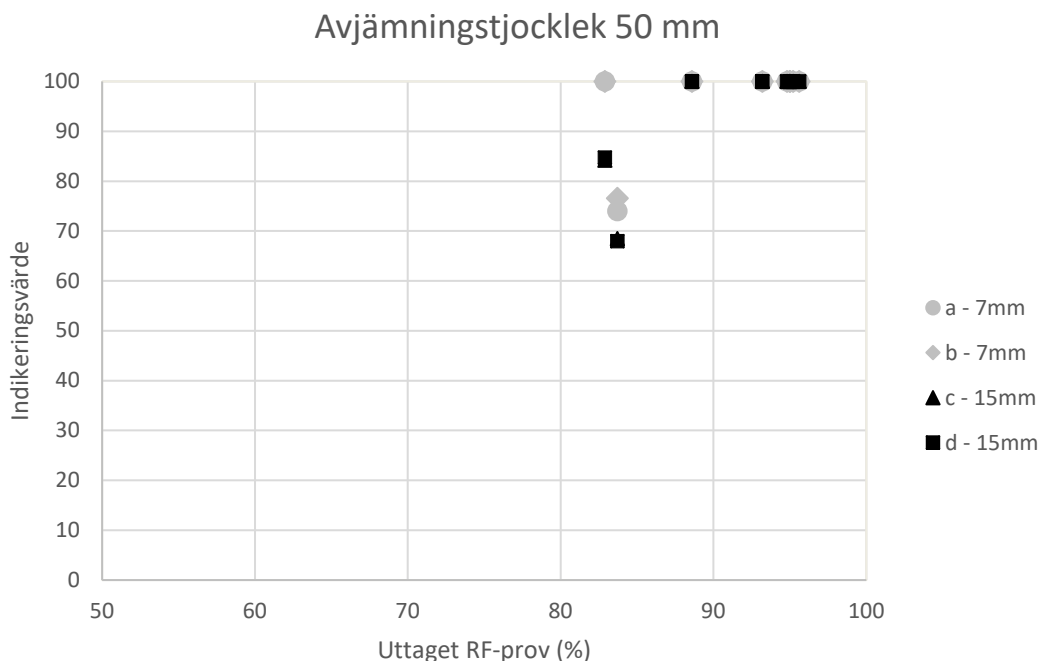


Diagram 9: Indikeringsvärde mot uttaget RF-prov (utan tillägg för mätfel på 2,1%) för avjämningsstjocklek 50mm.

Av ovanstående fyra diagram kan utläsas:

- För FC-givare som ligger på samma mätdjup och i samma avjämningsstjocklek är skillnaden i avlästa indikeringsvärden i de flesta fall inom några indikeringsenheter. Vid högre indikeringsvärden ökar skillnaden mellan avlästa värden.
- Indikeringsvärdena visar avklingande värden som följer uttorkningen.
- Indikeringsvärdet för FC-givare med större mätdjup, dvs med 7mm distanser, har konsekvent något högre indikeringsvärden än givare på 15mm distanser.
- Generellt visar indikeringsvärdet högre värde vid omräkning till uppskattat RF-värde jämfört med RF-värde från uttaget prov. Detta stämmer med förväntat då indikeringsvärdet sker i botten av avjämningsstjockleken.
- Givarens placering i botten gör att den visar fullt utslag = 100, ända tills RF sjunker under ca 95% RF i bottenskiktet. Därav har endast höga indikeringsvärden avlästs i tjock avjämningsstjocklek motsvarande 50 mm.

Indikeringsvärde på bestämt mätdjup

Vi antar att indikeringsvärdet, efter att ha omvandlats till RF som "uppskattat RF-värde", motsvarar RF på det mätdjup som motsvarar mätstiftens underkant.

Antagandet grundar sig på att fuktprofilen vid uttorkning ger ett ökat fuktvärde ju djupare ner mot botten av avjämnningen vi kommer. Detta innebär att motståndet som vi mäter över mätstiften minskar med ökat djup, vilket i sin tur betyder att det lägsta motståndet ligger i underkant mätstift, vilket antas avgöra avläst indikeringsvärde.

Om indikeringsvärdet omvandlas till "uppskattad RF", enligt kurva framtagen för FC-givaren under "Steg 4" ovan, kan vi rita ut det RF-värdet på de två mätdjup vi har i varje avjämnning. Till detta kan vi då även rita in det uttagna RF-provet enligt GBR-metoden som visar RF då fuktprofilen omfördelats efter tänkt matläggning.

I nedanstående diagram motsvarar alltså inritade punkter längs den streckade linjen RF i uttagna prov enligt GBR-metoden inritade på 40% mätdjup. Detta är en grov förenkling där det antas att mätvärdet motsvarar ekvivalent mätdjup på 40% av avjämnningens tjocklek. Ekvivalent mätdjup är sannolikt olika beroende på hur tjock avjämnningen är.

Övriga punkter som inte ligger längs den streckade linjen är avlästa indikeringsvärden på 7 respektive 15 mm avstånd från underlaget, uppskattade till RF. Lika punktformat (symboler) är från samma mättillfälle.

TOLKNING AV MÄTDJUP - 20 MM

INDIKERINGSVÄRDE MOT UTTAGET PROV

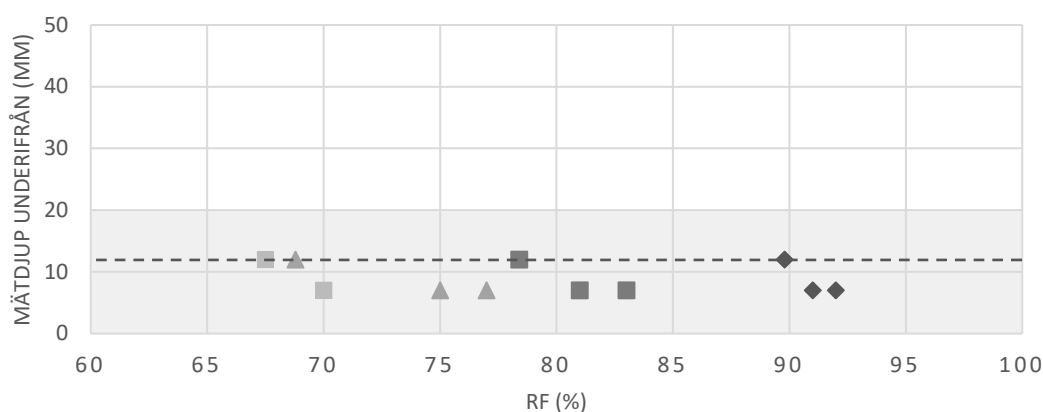


Diagram 10: Jämförelse av resultat mellan indikering 7 mm ovan underlaget och uttaget prov inritat på 40% mätdjup (streckad linje), för 20 mm tjock avjämnning. Gråtoning visar avjämnningens tjocklek. Lika symboler representerar prov från samma provtagningstillfälle.

Av diagrammet ovan framgår att indikeringsvärdet omräknat till uppskattad RF visar 2-7% RF högre än det uttagna provet enligt GBR-metoden. Innebär att mätvärdet 7 mm över underlaget ligger på säkra sidan vid alla 4 mättillfällena under uttorkning.

TOLKNING AV MÄTDJUP - 30 MM

INDIKERINGSVÄRDE MOT UTTAGET PROV

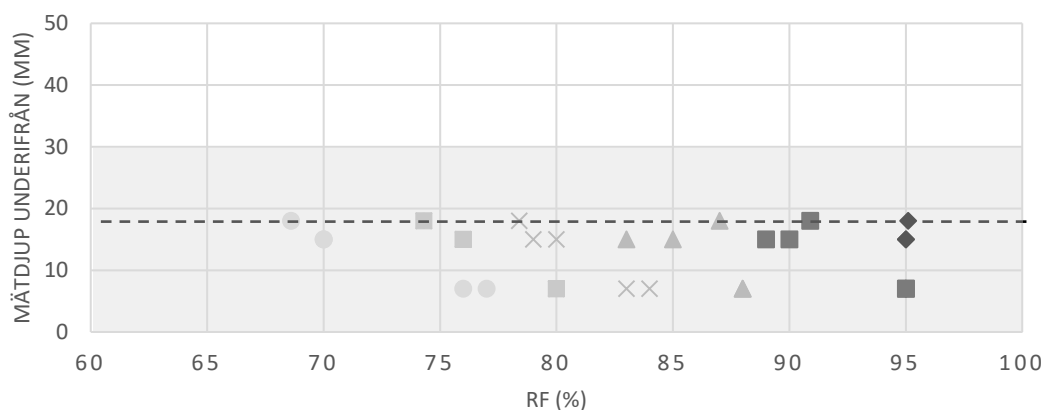


Diagram 11: Jämförelse av resultat mellan indikering 7 mm ovan underlaget och uttaget prov inritat på 40% mätdjup (streckad linje), för 30 mm tjock avjämning. Gråtoning visar avjämningens tjocklek. Lika symboler representerar prov från samma provtagningstillfälle.

Av resultaten från 30mm avjämning där indikeringsvärden finns för både 7 och 15 mm avstånd ovan underlaget visar att indikeringsvärden 7 mm över underlaget ligger 1-5% över uttaget prov enligt GBR-metoden. Indikeringsvärdet 15 mm över underlaget, dvs på 50% mätdjup visar $\pm 3\%$ från uttaget prov.

TOLKNING AV MÄTDJUP - 40 MM

INDIKERINGSVÄRDE MOT UTTAGET PROV

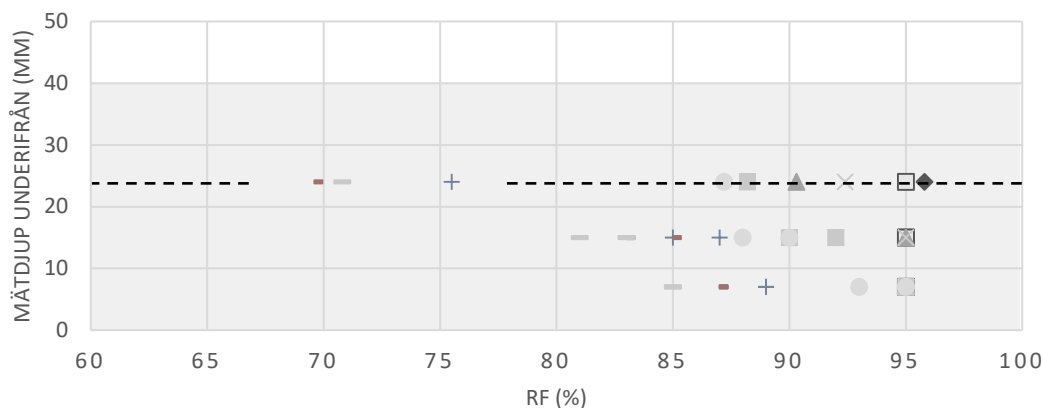


Diagram 12: Jämförelse av resultat mellan indikering 7 mm ovan underlaget och uttaget prov inritat på 40% mätdjup (streckad linje), för 30 mm tjock avjämning. Gråtoning visar avjämningsens tjocklek. Lika symboler representerar prov från samma provtagningstillfälle.

För 40 mm tjock avjämning visar generellt indikeringsvärdena högre uppskattad RF än RF vid uttaget prov av hel borrhärna. När uttaget prov >85% RF, visar indikeringsvärdena 7 mm över underlaget ca 4-7% högre värden. Indikeringsvärden från mätdjupet 15 mm ovanför underlaget visar ca 1-4% RF högre värden än RF för uttaget prov av hel kärna.

För uttagna prov som visar < 80% RF är skillnaderna större, dvs 10-15% högre värden från indikeringsmätningen.

För den tjockaste avjämningen på 50mm har tyvärr mätvärdena legat relativt högt (>90% RF), eftersom uttorkningen inte hunnit längre. Jämförelsen blir då inte relevant då indikeringsvärdena visade 100, vilket motsvarar $RF \geq 95\%$.

Slutsatser av ”steg 6”:

Genom att för FC-givaren göra en noggrann bestämning av vad indikeringsvärdet motsvarar i RF enligt ”Steg 4” kan RF-värdet uppskattas med god mätnoggrannhet!

Enligt redovisade diagram ovan där mätdjupet presenteras som RF-värde i underkant av mätstiften kan mätvärdena jämföras med RF för uttaget prov.

Labbförsöken med mätning under uttorkning har visat:

- Indikeringsvärdena är stabila.
- Två olika FC-givare ger i princip samma resultat.
- Generellt god överensstämmelse mellan avläst indikeringsvärde omräknat till uppskattad RF med hänsyn till aktuellt mätdjup:
 - o Indikeringsvärdet är generellt högre 7mm ovan underlaget (avjämningens botten) jämfört med uttaget prov och ligger därmed på säkra sidan, dvs överskattat värde.
 - o Motsvarande indikeringsvärde 15 mm ovan botten ligger $\pm 3\%$ RF jämfört med uttaget prov för 30 och 40 mm tjock avjämning.

4 Slutsatser av försöken

Givare

Givarnas mått måste vara definierade och mätstiften placerade på exakt mätdjup vid varje mättillfälle för att mätvärdet skall kunna tolkas.

Utifrån försöken har en definierad "FC-givare" tillverkats i ca 100 ex och utvärderats. Indikeringsvärdena har kalibrerats mot RF i uttagna prov och visat sig ge stabila mätvärden med erforderlig mätnoggrannhet för trendmätning. Givaren har inte genomgått alla tester som krävs för att kunna produceras och användas direkt på marknaden.

Givaren syftar till att vara en indikator och användas för trendmätning, dvs ge ett jämförande direktavläst mätvärde på byggarbetsplatsen, inför beslut om verifierande provtagning enligt GBR-metoden genom uttag av hel borrhärd.

Användbarhet/begränsningar

En givare för ingjutning ger en rad fördelar som nämnts tidigare, men har även en del begränsningar.

Mätområde

Tyvärr visar indikeringsvärdet fullt utslag = 100 så snart RF är $>93\%$ RF. Detta ger en stor begränsning i möjligheten att följa uttorkningen från ett tidigt uttorkningsskede.

Först när det uttagna provet enligt GBR-metoden visar $<90\%$ RF börjar FC-givaren placeras i bottenkiktet ge relevanta mätvärden som kan tolkas. Konsekvensen av

detta blir att givaren bara kan användas när det börjar närma sig RF på 85% RF om inte mätning sker på "ekvivalent mätdjup" som mera motsvarar RF efter fuktomfördelning. Därför måste givare placeras på flera mätdjup i tjockare skikt än 30 mm.

Ekvivalent mätdjup

De senaste laboratorieförsöken visar på svårigheten att tolka mätvärdena, beroende på vilket mätdjup man gjuter in givaren på. Under uttorkning då det råder en fuktprofil genom avjämningen från topp till botten av skiktet, visar mätvärdet omvandlat till RF allt mellan exempelvis 50% RF i ytan ner till 95% RF i bottenskiktet. För en avjämning på mellan 20 och 50mm tjocklek bedöms det inte vara möjligt att finna ett ekvivalent mätdjup som motsvarar den exakta RF hela skiktet får efter att fuktomfördelning skett.

Bestämning av mätdjup ovanifrån ytan försvåras ytterligare av att avjämningens tjocklek varierar mellan olika mätpunkter. Metoden bör därför alltid bygga på att mäta på ett bestämt avstånd över underlaget. För tjockare skikt bör mätningen kompletteras med givare placerad högre upp enligt förslag nedan.

Underlaget tätas under givaren för att uttorkningen inte skall störas i mätpunkten av fukttillståndet i underlaget. På detta sätt bortser vi ifrån hur mycket underlaget bidrar med till uttorkningen, samtidigt som vi vet att givaren placeras så att risken för uppfuktning, dvs absorption undviks, eftersom det ger felaktiga mätvärden som inte kan tolkas.

Flera mätdjup

För att möjliggöra trendmätning, dvs att följa uttorkningen, kan ytterligare givare placeras högre upp i avjämningsskiktet då avjämningens tjocklek är över 25 mm, så att detta tidigare indikerar när det börjar närma sig en uttorkning som även berör bottenskiktet. Anledningen till att bibehålla givare placerad i bottenskiktet är att detta mätvärde är betydligt säkrare än ett mätvärde högre upp i avjämningens fuktprofil.

En viktig begränsning är att givarens mätstift måste täckas med minst 10 mm avjämning, för att inte uttorkningen över och kring givaren skall vara snabbare än övriga avjämningen.

Lämplig placering utifrån gjorda försök bör vara så att mätstiftets underkant placeras i avjämningens mittskikt. Lämpligt mätdjup kan då vara:

- Skiktthjocklek 20-30 mm: 5 mm över underlaget.
- Skiktthjocklek ca 30 mm: 5 mm + 15 mm över underlaget.
- Skiktthjocklek ca 40 mm: 5 mm + 20 mm över underlaget.
- Skiktthjocklek ca 50 mm: 5 mm + 25 mm över underlaget.

Metoden ger då mätvärden som indikerar när fukttillståndet på ett mera ”ekvivalent mätdjup” uppnås som motsvarar RF vid uttaget prov efter omfördelning enligt GBR-metoden.

Vidare behov av utvärdering

Om det varit möjligt skulle givaren vara färdig för att användas utifrån de tester som genomförts. Redan tidigt i projektet insåg vi dock att givaren måste kalibreras för varje enskild avjämningsprodukt den skall användas för och att detta inte var möjligt inom projektets ramar. Vi vet dock inte hur stora skillnader det visar mellan olika produkter, så detta kvarstår att undersöka.

Det vi bedömer återstår att utvärdera är:

- Mätvärdenas korrelation mot RF för olika avjämningsprodukter.
- Mätvärdenas påverkan av snabba och långsamma temperatursvängningar.
- Hur givaren ska utformas för att tillverkas rationellt.
- Hur mätdjupet konsekvent ska hanteras.
- Upprätta en mätrutin för metoden.