

# **Fuktmätning i betonggolv med golvvärme**

**Etapp II: Täta golvbeläggningar**

Anders Sjöberg  
Lars-Olof Nilsson

ISRN: LUTVDG/TVBM--07/3140--SE (1-55)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola  
Byggnadsmaterial  
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415  
Fax: 046-2224427  
[www.byggnadsmaterial.lth.se](http://www.byggnadsmaterial.lth.se)  
[www.fuktcentrum.se](http://www.fuktcentrum.se)

## Sammanfattning

Golvvärme i betonggolv har fått en allt större användning av komfortskäl. Golvvärme har blivit ett marknadskrav och vid nyproduktion av småhus är det mer regel än undantag. Man vill framför allt undvika ”kalla golv”, till och med när man använder trägolv, som traditionellt anses ha en god värmebehaglighet, önskar man ofta ha golvvärme.

I detta delprojekt har sammanlagt 18 golvplattor med måtten 100×600×120mm gjutits. Plattorna har avjämnats och konditionerats i klimatrum med 60 % RF vid 20°C. Därefter limmades täta golvbeläggningar och golvvärmens slogs på. Mätningar av fukt- och temperaturprofiler utfördes vid tre tillfällen med början strax efter limningen för att fånga upp starttillstånd, omlagringsförlopp och sluttillståndet.

Den statistiska utvärderingen som gjordes av de undersökta parametrarna visade att en sänkning av vct från 0,6 till 0,4 gav en sänkning av medelfuktnivån i plattorna på 4 % RF. Att ha golvvärmens påslagen under uttarkningen, innan mattläggning, gav en sänkning på 3,5 % RF i medel. Att ha golvvärme, även om den startas efter mattläggning, gav en sänkning på 3 % RF samt att det i genomsnitt var 1 % RF torrare invid värmerören än mitt i mellan dem.

Då de uppmätta resultat jämfördes med resultat som beräknats med olika typer av fukttransportantagande kunde konstateras att det bästa sättet att beskriva fukttransport under temperaturgradient var genom att dela upp fukttransporten i två termer. Sex olika sätt att dela upp den totala fukttransporten i ångtransport och väsketransport har utvärderats.

Ekvivalent mätdjup för fuktmätning i betonggolv med golvvärme, innan mattläggning, har beräknats. Det vanliga mätdjupet på 0,4d har visat sig stämma väl även för betonggolv med golvvärme.

I studien har även temperaturkorrigering av RF vid höga mättemperaturer undersökts. Ett samband som kan användas för att indikationsmätningar utan att stänga av golvvärmens har tagits fram och presenterats i rapporten.

I rapporten belyses problematiken kring omvänd fuktvandring, på grund av avstängd golvvärme, i moderna golvkonstruktioner. Med tillräcklig tjock mineralullsisolering eller tät cellplastisolering undviks problemet helt.

Projektets slutsatser är följande:

- Påslagen golvvärme under uttorkningsperioden sänker RF i betongen markant.
- Omfördelningen av fukt i golv med golvvärme, under en tät beläggning, ger något lägre RF intill de varma rören än mitt emellan rören.
- Beräkningar med två termer för fukttransport, där den andra termen har RF som fukttransportpotential, ger bäst överensstämmelse med laboriemätningarna.
- Med detta fukttransportantagande har lämpliga mätdjup för golv med golvvärme kunnat beräknas. Samma mätdjup som för icke värmda golv, 0,4 D stämmer väl.
- Temperaturinverkan på RF vid mätning vid en högre temperatur än +20°C är betydligt större än vid +20°C och den ökar med temperaturnivån.
- Inverkan av golvvärmeavstängning på risken för omvänd fukttransport från marken har en enkel lösning för moderna konstruktionen. Fuktsäkerhetsprojektering!

<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>3</b>
1.1 Bakgrund .....	3
1.2 Föreliggande frågeställningar.....	3
1.3 Syfte .....	5
1.4 Genomförande .....	5
1.5 Finansiering .....	6
1.6 Organisation .....	6
1.7 Redovisning.....	6
1.8 Förstudie.....	7
1.9 Projektplan .....	8
<b>2. MATERIAL OCH PROVPLATTOR</b> .....	<b>10</b>
2.1 Formar .....	10
2.2 Betong .....	10
2.3 Gjutning och härdning.....	11
2.4 Avjämning .....	11
2.5 Uttorkning och ytbeläggning.....	11
2.6 Golvvärme .....	11
2.7 Sammanställning av provplattor.....	12
Platta 1 – 12.....	12
Platta 13,15.....	12
Platta 14, 16.....	12
Platta 17, 18.....	12
<b>3. MÄTFÖRFARANDE</b> .....	<b>14</b>
3.1 Temperaturmätningar .....	14
3.2 Fuktmätningar .....	14
<b>4. MÄTRESULTAT</b> .....	<b>15</b>
4.1 Temperaturprofiler .....	15
4.2 Fuktnivåer, exempel .....	16
4.3 Fuktnivåer, sammanställning .....	16
<b>5. STATISTISK UTVÄRDERING AV MÄTRESULTATEN</b> .....	<b>19</b>
5.1 Flerfaktorförsök på två nivåer .....	19
5.2 Utvärdering av övergripande faktorer för hela serien .....	19
5.3 Omfördelning av fuktprofil med golvvärme efter matläggning.....	21
5.4 Omfördelning av fuktprofil utan golvvärme .....	23
5.5 Uttorkning och omlagring med golvvärme före matläggning.....	25
5.6 Uttorkning och omlagring utan golvvärme, lång uttorkningstid.....	27
<b>6. MATERIALDATA FÖR BERÄKNINGAR AV FUKTTRANSPORT UNDER TEMPERATURGRADIENT</b> .....	<b>28</b>
6.1 Problemställning.....	28
6.2 Teori .....	28
6.3 Förstudiens parameteruppsättningar .....	29
6.4 Datorprogrambeskrivning .....	31
6.4.1 Indatafiler till DDXRT .....	32
6.4.2 Utdatafiler från DDXRT .....	34
6.4.3 Exempel på beräknade 2D-fördelningar .....	34
6.5 Utvärdering mot uppmätta värden, Etapp II.....	35
6.5.1 Värmerör på djupet 30 mm .....	36
6.5.2 Värmerör på djupet 100 mm .....	38
6.6 Utvärdering mot uppmätta värden Etapp III .....	40
6.7 Slutsatser av utvärderingarna mot uppmätta värden .....	42
<b>7. BERÄKNING AV EKVIVALENT MÄTDJUP</b> .....	<b>43</b>
7.1 Temperaturberäkningar .....	43

7.1.1 Rör på 30 mm.....	43
7.1.2 Rör på 100 mm.....	44
7.2 Fuktberäkningar .....	44
7.2.1 Rör på 30 mm.....	45
7.2.2 Rör på 100 mm.....	46
7.3 Sammanställning med olika tork- och omfördelningstider .....	48
7.4 Slutsats: Mätdjup 0.4D.....	49
<b>8. TEMPERATURKORRIGERING AV RF VID HÖGA MÄTTEMPERATURER.....</b>	<b>50</b>
<b>9. GOLVVÄRMEKUDDE.....</b>	<b>52</b>
<b>10. KONKLUSIONER.....</b>	<b>54</b>
10.1 Mät delen av projektet.....	54
10.2 Beräkningsdelen av projektet .....	54
10.3 Temperaturinverkan på RF.....	54
10.4 Effekt av golvvärmekudde på markfukttillförsel .....	54
<b>11. REFERENSER.....</b>	<b>55</b>
<b>BILAGA A</b>	<b>Alla mätresultat RF och T för samtliga provkroppar</b>
<b>BILAGA B</b>	<b>Projektets tidplan</b>
<b>BILAGA C</b>	<b>Materialegenskaper för VADAU-beräkningar</b>

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Golvvärme i betonggolv har fått en allt större användning av komfortskäl. Vid nyproduktion av småhus är det mer regel än undantag att byggnadens värmesystem utförs med golvvärme. Golvvärme är ett marknadskrav. Man vill framför allt undvika ”kalla golv”, både om golvbeläggningen är keramiska plattor och natursten, men också om den är en tunn, limmad beläggning av PVC, linoleum, gummi och polyolefin. En konstruktion med golvvärme kräver en särskild dimensionering av värmeisoleringen med avseende på köldbryggor och energiförluster, speciellt med tanke på att värmesystemet ofta är inkopplat längre period på året än normala värmesystem.

Ur fuktsynpunkt har en konstruktion med golvvärme flera fördelar, men det finns också ett antal punkter som särskilt måste beaktas för att undvika fuktskador och fuktproblem. De flesta av dessa är relativt väl kända, men några aspekter fordrar forskning för att bättre klargöra frågeställningarna för att därefter upprätta konkreta beskrivningar för praktisk och säker hantering av golvvärme i bygg- och projekteringsskedet. Med en underliggande värmeisolering, som är tjockare än normalt av energiskäl, fås ett mycket bra skydd mot markfukt i ångfas, genom den stora temperaturgradienten över värmeisoleringen. Om golvvärmens kan utnyttjas under byggtiden, kan också byggfukten torka ut snabbare, eftersom betongplattan kan värmas upp.

## 1.2 Föreliggande frågeställningar

Som grund till denna studie förelåg ett antal frågetecken kring golvvärme i betonggolv, speciellt rörande fuktmätning för att kunna avgöra när byggfukten är tillräckligt uttorkad.

Själva mätförfarandet är svårt, på grund av den höga temperaturen och de temperaturgradienter som finns i en betongkonstruktion med aktiva värmerör. Om RF-mätning utförs i ett borrhål direkt i konstruktionen är det stor risk för alldeles felaktiga mätvärden och t o m kondens på RF-givaren. Dessa svårigheter har bl a studerats i ett tidigare SBUF-projekt, Wengholt-Johnsson (2000)<sup>1</sup>, där man haft stora problem med fuktmätningarna och där fältmätningarna med kvarsittande givare gav ”orimliga resultat”.

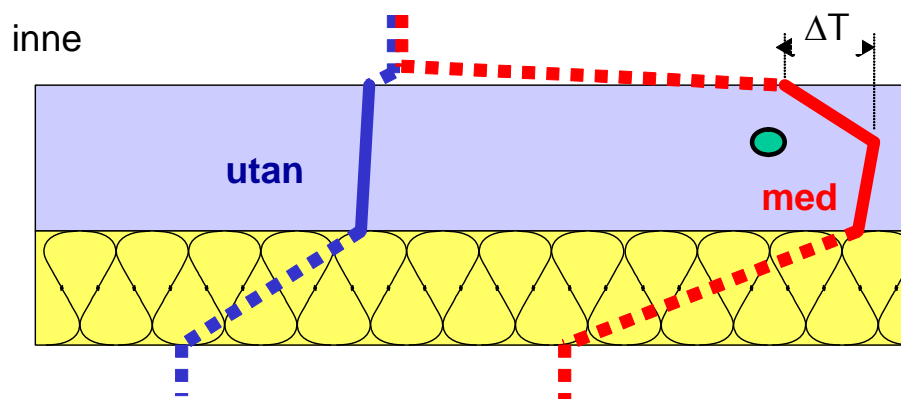


Fig. 1. Principiella temperaturfördelningar genom ett betonggolv på mark, utan respektive med golvvärme.

Den metod som rekommenderats för RF-mätning i betonggolv med aktiv golvvärme är uttaget prov. Metoden innebär att ett betongprov tas ur konstruktionen, placeras i ett provrör varefter RF-bestämning utförs i laboratorium utan temperaturpåverkan av värmerören. Denna metod anses ge ett rättvisande resultat av RF på det djup mätningen är utförd. Vilket mätdjup som skall användas är däremot oklart, bland annat eftersom temperaturgradienten över betongplattan anses ge en viss fuktförhöjning under ett tätt golvmaterial jämfört med en betongplatta utan golvvärme, Nilsson (1980)<sup>2</sup>, men också eftersom omfördelningen av fukt är annorlunda med golvvärme, med viss fukttransport från betong intill varmare rör mot betong intill kallare rör. Mätdjupet kan även vara beroende av värmerörens placering i höjddet i konstruktionen.

Av ovan nämnda anledning är det oklart hur tolkning av mätresultat skall ske. Det är också oklart till vilken RF-nivå betongen skall torkas eftersom RF i betong är något temperaturberoende, se Nilsson (1987)<sup>3</sup> och Kropp (1998)<sup>4</sup>, och de kritiska fuktillstånden för tex emissioner från golvmaterialkombinationer, sannolikt är annorlunda vid högre temperatur. De RF-värden som för olika ytskikt anges i Hus AMA 98 avser RF i underlaget vid temperaturen 20°C samt en jämn temperaturfördelning genom betongen. Hus AMA 98 ger således ingen vägledning vad gäller golvvärme då temperaturen vida överstiger 20°C. I Kapitel M i Hus AMA 98 anges att RF-värden som föreskrivs i texten avseende underlaget inför beläggning av ytskikt inte gäller för golv med golvvärme och enbart gäller vid en temperatur i underlaget av ca 20°C. Den kunskap som finns idag vad gäller emissioner från byggmaterial är baserad på tester vid normal rumstemperatur. Troligen fås kraftigt accelererade emissionsförlopp då temperaturen stadigt ligger på en högre nivå, vilket den gör när värmekällan placeras i golvkonstruktionen.

Det är heller inte ordentligt klarlagt hur mycket golvvärmen kan minska uttorkningstiderna. Uttorkningsprogrammet ”*TorkaS*” innehåller inte den funktionen. Det skulle behöva en del indata och verifieringar för att golvvärme skulle kunna byggas in som en del i *TorkaS*. Det efterfrågas även praktiska råd om hur golvvärme kan användas i produktionsskedet för att torka ut byggfukten.

Resultatet av en nyligen genomförd förstudie, Sjöberg et al (2002)<sup>5</sup> är ett antal preliminära rekommendationer, samt förslag hur man går vidare med att verifiera och förbättra resultaten som ligger till grund för rekommendationerna. Rekommendationer som ges behandlar i första hand om mätplats och mätförfarande samt uppskattning av kvarvarande torktid.

Bland annat rekommenderades att mätningar görs mitt mellan golvvärmerören, på ett djup av 40 % av plattjockleken då värmerören ligger i plattans undre hälft. I det fallet att värmerören ligger i plattans övre hälft kunde inte någon rekommendation ges. Dock tillkommer en extra osäkerhetsfaktor som man bör ta hänsyn till då man använder 40% av plattjockleken som mätdjup i platta med golvvärme.

Resultat från denna förstudie pekade också på att det alltid bör vara gynnsamt att utnyttja golvvärmen så tidigt och så länge som möjligt för att påskynda uttorkningen. Vid användning av golvvärmen för uttorkning är det dock särskilt viktigt att tänka på att andra, kallare materialtyper kan få kondensutfällning av den fukt som torkats ut ur den varma betongen!

Som fortsättning på förstudien föreslogs bland annat att noggranna laboratorieundersökningar av uttorkningsförlopp och omfördelning av kvarvarande fukt utförs för att bekräfta, och verifiera, beräkningarna som ligger bakom valet av mätdjup. En noggrannare studie borde också göras av temperaturberoendet hos RF vid aktuella temperaturnivåer.

En särskild studie rekommenderades också för att klarlägga under vilka fuktförhållanden som trägolv kan limmas på varma betonggolv. En teoretisk analys av detta har nyligen gjorts av Sjöberg (2003)<sup>6</sup> för fallet utan golvvärme.

Boverkets nya byggregler BBR06, som trädde ikraft 1 juli 2007, innehåller verifierbara funktionskrav avseende fukt och inomhusmiljö. BBR06 kap 6.5 kräver att man verifierar att fukttillståndet inte blir högre än det ”högsta tillåtna” fukttillståndet. Självklart skall detta bedömas med en fuktsäkerhetsprojektering, men också kontrolleras med fuktmätning före golvläggning. Detta gäller naturligtvis också området fuktkontroll av betong med ingjutna golvvärmerör.

### 1.3 Syfte

Att utreda samtliga frågeställningar som belyses ovan medför ett alltför omfattande projekt som är svårt att överblicka, styra och finansiera. Problemställningen har därför brutits ner i tre etapper där den andra etappen, vilken denna rapport avser, behandlar själva RF-mätningen och tolkningen av den.

Primärt är syftet i denna etapp att fastställa hur en maximal RF-nivå kan garanteras i ett betonggolv med golvvärme genom RF-mätning. Projektet koncentreras på att fastställa hur mätning av relativ fuktighet (RF) skall utföras i betongkonstruktioner med ingjutna värmerör med den redan etablerade mätmetoden ”uttaget prov”. Projektet skall leda fram till hur mätresultat skall tolkas och därefter upprätta en metodbeskrivning för ändamålet. I projektet skall värmerörens placering i höjddled i konstruktionen studeras och hur detta påverkar ekvivalent mätdjup, d.v.s. på vilket djup mätning av RF skall ske, beroende på var rören är placerade i höjddled, detta för att mätvärdet skall representera den RF som uppnås i betongen under en tät limmad ytbeläggning i fortvarighetstillstånd. Detta är det värde som ligger till grund för att bestämma om mattläggning/ytbeläggning kan ske utan risk för fuktskador.

Projektet skall leda fram till konkreta råd och anvisningar som skall komplettera Sveriges Byggindustriers skrift *Manual fuktmätning i betong* godkänd av RBK ( Rådet för ByggKompetens ) samt Hus AMA 98. Projektet skall även leda fram till praktiska råd angående hur golvvärme kan och inte kan användas vid uttorkning av byggfukt i byggskedet.

Baserat på erfarenheterna från denna etapp kan, om så önskas, ytterligare etapper formuleras. Tänkbara inriktningar för sådana etapper är alternativa/enklare mätmetoder, att skapa ett större underlag avseende uttorkningsdata samt att i större omfattning studera emissioner och kritiska gränsvärden för limmade ytskikt på betong under inverkan av golvvärme.

### 1.4 Genomförande

Projektet har genomförts i sin helhet vid avdelningen för byggnadsmaterial på Lunds Tekniska Högskola där både beräkningar och laboratorieförsök har utförts. Projektet har inriktats mot fuktmätningens problematiken i samband med golvvärme, med tyngdpunkt på lämpligt mätdjup och utvärdering av uppmätta fukt- och temperaturprofiler.

Ett antal kontrollerade laboratorieförsök har använts för att verifiera tidigare beräkningar med olika antaganden om fukttransport. Värmerörens placering i höjddled, betongkvalitet och uttorkningstider har varit de viktigaste variablerna i försöken. Dokumentationen av fukt- och temperaturförhållandena fick pågå ca ett år efter limning av golvmaterialen.

Laboratorieförsöken lades upp så att de uppmätta uttorkningsförloppen kunde användas för att få ny kunskap om effekten av golvvärme på uttorkningstider. Denna kunskap är avsedd att användas vid framtida revideringar av torkprogrammet *TorkaS*. Under laboratorieförsöken har erfarenheter noterats vad gäller uttorkning av byggfukt beroende på värmerörens placering i höjddled samt tidpunkt för värmepåsläpp. För detta användes referensplattor utan golvvärme för att tydligt demonstrera vilken uttorkningseffekt golvvärmen har. Erfarenheterna skulle



sammanställas till konkreta råd för hur golvvärme kan respektive inte kan användas för uttorkning av byggfukt under byggskedet.

En studie har också gjorts av temperaturberoendet hos RF vid höga temperaturnivåer. Denna kunskap fanns tidigare bara för temperaturer under +20°C, som använts enligt Hus AMA 98 i intervallet +15 till +25°C. Indikationer har funnits att effekten är betydligt större vid temperaturer över +20°C.

Då beräkningar och laboratorieförsök slutförts och utvärderats, sammanfattas resultatet i en slutlig metodbeskrivning för utvärdering av mätresultat från RF-mätning i betongkonstruktioner med ingjutna värmerör. Metodbeskrivningen skall sedan presenteras för RAN, RBK:s auktorisationsnämnd, för att efter godkännande införas i skriften *Manual fuktmätning i betong*.

2D-fukt- och temperaturberäkningar har genomförts för de förhållanden som råder i laboratorieundersökningarna, för respektive platta. Avsikten är att klarlägga hur fukttransport under temperaturgradient skall beskrivas i fuktberäkningar.

## **1.5 Finansiering**

Projektet har finansierats av SBUF, Formas/BIC, NCC och en rad golvvärmeleverantörer: LK Lagerstedt-Krantz, Roth-Scandinavia AB, Tyco Thermal Controls Nordic, Thermotech Scandinavia AB, Upnor Wirsbo AB och Kima Heating Cable AB.

## **1.6 Organisation**

Projektgruppen har bestått av professor Lars-Olof Nilsson, tekn dr Anders Sjöberg samt docent Bertil Persson på avdelningen för Byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola där samtliga beräkningar och laboratorieförsök utförs.

Bertil Person har ansvarat för de laborativa delarna av projektet. Till sin hjälp har han haft civ. ing. Per Folkesson för tillverkning av provkropparna samt uttagning av fuktprover. Forskningsingenjör Stefan Backe har ansvarat för fuktmätning på de uttagna betongproverna. Tekn. Dr Anders Sjöberg har ansvarat för utvärdering av mätvärden, samtliga beräkningar samt rapportskrivning.

Ted Rapp vid Sveriges Byggindustrier ansvarar för framtagandet av metodbeskrivning och redovisningen av dito gentemot RAN, Lena Nilsson/Henrik Sjelin vid GBR för framtagande av underlag för uppdatering av HusAMA och Bengt Ström, NCC, för transformering av uttorkningsresultat till råd för entreprenörer och underlag för TorKaS.

Professor Lars-Olof Nilsson har ansvarat för övergripande projektdesign och -planering.

Referensgruppen består av Bengt Ström, NCC, Lena Nilsson/Henrik Sjelin, GBR, Ted Rapp, Sveriges Byggindustrier samt ett antal representanter för de golvvärmeleverantörer som medfinansierat projektet.

## **1.7 Redovisning**

Redovisning av projektet sker i form av denna rapport där resultaten från utförda beräkningar och försök sammanställs samt en metodbeskrivning för utvärdering av mätresultat från RF-mätning i betongkonstruktioner med ingjutna värmeslingor. Praktiska råd angående uttorkning av byggfukt med golvvärme sammanställs, kortfattat.

Delar av projektresultaten publiceras även i internationella, vetenskapliga tidskrifter samt i AMA-nytt och i tidskriften *Golv till Tak*.

## 1.8 Förstudie

En förstudie påbörjades under hösten 2000 i form av ett större, utvidgat examensarbete/internt projekt vid institutionen för byggnadsmaterial vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet i projektet visade större svårigheter än förväntat, både teoretiska och experimentella, se Mattsson (2001)<sup>7</sup> och Sjöberg et al (2002). Detta överensstämmer väl med erfarenheterna från det tidigare SBUF-projektet, se Wengholt-Johnsson (2000)<sup>1</sup>.

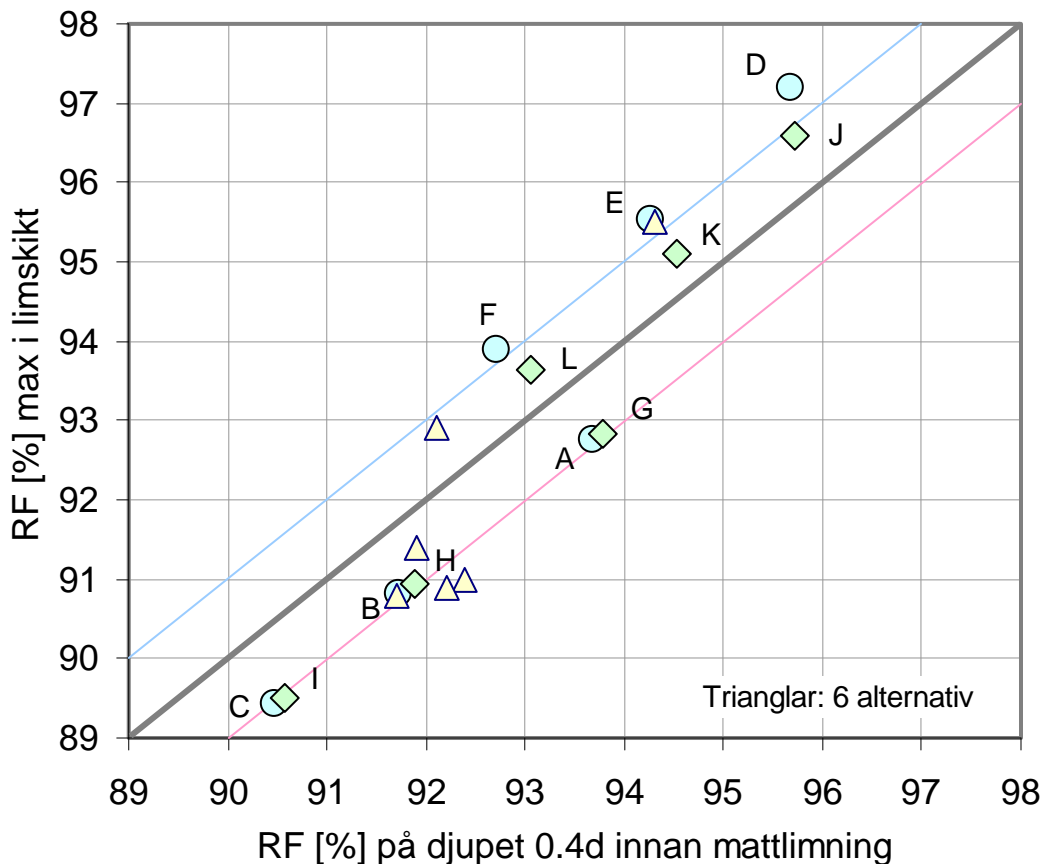
Förstudien visade också, genom sofistikerade 2D-datorberäkningar, att valet av mätdjup är extremt känsligt för hur väl man kan beskriva fukttransport i betong under en temperaturgradient. Här är kunskapsnivån idag mycket begränsad.

- Om man beskriver fukttransporten som ångtransport i huvudsak blir det beräkningsmässigt en mycket stor fuktförhöjning under en tät beläggning. Punkten just under beläggning, mellan värmerören, blir den fuktigaste i hela tvärsnittet! RF vid mättillfället är mycket olika mellan olika djup och olika avstånd från rören.
- Om man istället beskriver fukttransport som väsketransport i huvudsak blir det beräkningsmässigt nästan samma RF överallt i tvärsnittet efter omfördelningen, utom närmast rören.

Ett sätt att hantera dessa stora, teoretiska osäkerheter var tillsvidare att jämföra beräknad RF mitt emellan rören, på djupet 0,4 d, med maximal RF under beläggningen efter omfördelning. Jämförelsen för ett antal olika beräkningsfall visas i Figur 2. Dessa båda RF visade sig vara relativt lika, med en avvikelse på maximalt 1.5 % RF, i sådana fall där värmerören ligger i mitten eller i botten av plattan. I de fall då rören ligger högre upp, kunde någon rekommendation inte ges, pga för stor osäkerhet kring hur fukttransport skall beskrivas i beräkningar med fukttransport under temperaturgradienter.

Försök gjordes även i fält för att klargöra hur fukttransport sker under temperaturgradient. Ett antal entreprenörer i Göteborgstrakten, Skanska, GEAB m fl, ställde objekt till förfogande för fältmätningar. I dessa objekt var avsikten att erhålla ny kunskap genom att noggrant mäta RF- och KMG-profiler på uttagna prov och dokumentera temperaturprofilerna i mätpunkterna. Mätresultaten skulle sedan analyseras genom beräkningar. Ett par mätningar gjordes i denna förstudie. Fältmätningarna utfördes i två olika objekt, belägna i Göteborgs närhet.

Det var uppenbart från fältmätningarna att mätosäkerheten var alldeles för stor för att säkra slutsatser skulle kunna dras om vilken typ av beskrivning av fukttransport enligt ovan som gäller! Mycket noggrannare mätningar måste göras och då i hela tvärsnittet mellan värmerören.



Figur 2. Jämförelse mellan RF på 40 % av plattjocklek (0,4d), mellan värmerör, innan mattlimning och maximal RF under mattan efter mattlimning då omlagring av kvarvarande byggfukt skett. Samtliga beräkningsfall. Värmerör i botten av plattan. Figur ur Sjöberg et al (2002).

## 1.9 Projektplan

Mätdjupen enligt Hus AMA98 bestäms av hur kvarvarande byggfukt omfördelas och därmed vilken  $RF_{max}$  som erhålls under golvmaterialet. Omfördelningen skulle kunna bli radikalt annorlunda med golvvärme och olika på olika ställen på golvet, t ex intill olika varma rör. Den högre temperaturen borde också ge en något snabbare självtorkning.

För att bättre klargöra fuktförhållandena i golv med golvvärme har en detaljerad projektplan utarbetats. Den redovisas övergripande här och detaljerna ges i nästa avsnitt.

Ett antal kontrollerade laborieförsök används för att verifiera tidigare beräkningar med olika antaganden om fukttransport. RF-mätningar görs antingen med mätrör placerade parallellt med golvytan för att minimera temperaturskillnader och temperaturgradienter, Nilsson (1980) eller på uttagna prov. Strax före applicering av ytskikt, efter 3 och 6 månaders omfördelning, före avstängning av golvvärme, mäts fördelningen i plan och djup av RF och KMG<sup>1</sup> på uttagna prover. Samtliga mätningar utförs i överensstämmelse med *Manual fuktmätning i betong*<sup>8</sup>. Värmerörens placering i höjddled, betongkvalitet och uttorkningstider är de viktigaste variablerna i försöken.

<sup>1</sup> KMG = Kapillär MättnadsGrad; ett mått på fukttinnehållet, i ett inhomogent material som betong, som är oberoende av inhomogeniteten i ett uttaget prov.

Under laboratorieförsöken skall erfarenheter noteras vad gäller uttorkning av byggfukt beroende på värmerörens placering i höjddled samt tidpunkt för värmepåsläpp. För detta används referensplattor utan golvvärme för att tydligt demonstrera vilken uttorkningseffekt golvvärmen har. Erfarenheterna sammanställs till konkreta råd för hur golvvärme kan respektive inte kan användas för uttorkning av byggfukt under byggskedet.

En studie görs också av temperaturberoendet hos RF vid höga temperaturnivåer. Denna kunskap finns idag bara för temperaturer under +20°C, Sjöberg et al (2002), som idag används enligt RBK i intervallet +15 till +25°C. Indikationer finns på att effekten är betydligt större vid temperaturer över +20°C<sup>4</sup>. Studien kan visa om ytterligare undersökningar av detta fordras samt ge riktlinjer för hur mätresultat i samband med golvvärme skall tolkas med den kunskap som står till förfogande idag.

Då beräkningar och laboratorieförsök slutförts och utvärderats i en rapport, sammanfattas resultatet i en slutlig metodbeskrivning för utvärdering av mätresultat från RF-mätning i betongkonstruktioner med ingjutna värmerör. Metodbeskrivningen presenteras för RAN, RBK:s auktorisationsnämnd, för att efter godkännande införas i skriften *Manual fuktmätning i betong*.

Laboratorieförsöken läggs upp så att de uppmätta uttorkningsförloppen kan användas för att tillföra viss ny kunskap om effekten av golvvärme på uttorkningstider. Denna kunskap kan tillföras framtida revideringar av torkprogrammet *TorkaS*.

En ny serie betongplattor, ca 1 x 2 m stora, gjuts med två betongkvaliteter och med golvvärmslingorna på två djup. Ett "helt" tätt golvmaterial appliceras efter två torktider, som väljs så att man får en fuktnivå som är precis acceptabel enligt nuvarande uppfattningar och en som ger högre. Referensplattor gjuts med samma betonger, utan golvvärme, som torkas till motsvarande fuktnivåer.

Golvvärmen styrs så att ytemperaturen ligger konstant så nära +27°C som möjligt. Luftutrymmet över golven styrs så att det motsvarar ett normalt inneklimat med den årstidsvariation som det innebär. Läggningsstidpunkten för den första omgången av golvmaterial eftersträvas bli vinterklimat. En andra omgång startas istället under sommarklimatförhållanden.

Fukt- och temperaturförhållandena dokumenteras omsorgsfullt, särskilt i gränsytan mellan betong och golvmaterial, men också i luften ovanför golvmaterialen och på materialytan. Hänsyn tas till eventuella temperaturskillnader i plan.

Dokumentationen av fukt- och temperaturförhållandena får pågå ca ett år efter läggning av golvmaterialen. 2D-fukt- och temperaturberäkningar genomförs för de förhållanden som råder i laboratorieundersökningarna, för respektive platta.

## 2. Material och provplattor

Detta kapitel är i huvudsak ett reviderat utdrag ur datarapporten från projektet, Person (2006)<sup>9</sup>.

### 2.1 Formar

Betongen göts i en limmad form av träfiberplattor iklädd med dubbla skikt av 0.2 mm byggplastfolie med hörnvinklar. Betongen armerades runt om med Ø10 armeringsstål Ks50 i överkant och underkant. Runt formen placerades 100 mm cellplast samt under formen 200 mm cellplast, se figur 3a.



Figur 3a. Plastad gjutform med värmerör.



Figur 3b. Ställning med termoelement.

I formen placerades två 18 mm PEX-rör endera på djupet 30 mm eller på djupet 100 mm från färdig konstruktionsyta. Centrumavståndet mellan värmerören var 300 mm.

Mittemellan värmerören samt intill värmerören monterades termoelement typ T på mätdjupen 0, 30, 60, 90 och 120 mm räknat från ytan, se figur 3b. Dubbla termoelement placerades i ytan varav det ena termoelementet användes för temperaturstyrningen.

### 2.2 Betong

Två olika betonger användes till denna studie, se tabell 1, med vattencemental (vct) motsvarande dels en självtorkande betong och dels en traditionell husbyggnadsbetong.

Tabell 1. Betongrecept (kg/m<sup>3</sup>)

<b>Material/egenskap - vct</b>	<b>0.41</b>	<b>0.60</b>
Byggcement Slite	489	355
Vatten	200	213
Ballast, Blentarp 11-18 mm	389	431
Ballast, Blentarp 4-8 mm	543	425
Ballast, Bösarp 0-2 mm	702	709
Ballast, Önnestad 0-1 mm	99	175
Glasfiller	-	58
Glenium 51 (våtvikt)	2.7	1.4

## **2.3 Gjutning och härdning**

Direkt efter gjutning förseglades i plattorna med plastfolie. Den förseglade härdningen varade normalt i 28 dygn. I några fall avslutades den förseglade härdningen dock efter endast 1 dygn.

Härdningen skedde i konstant temperatur av 20°C.

## **2.4 Avjämning**

Vid tidpunkten för avjämningen applicerades först ett skikt av Primer 6000 av fabrikat Bostik. Ovanpå detta skikt lades sedan ungefär 8 mm avjämningsmassa av märket Fiber Quick från tillverkaren Bostik.

## **2.5 Uttorkning och ytbeläggning**

När härdningen avslutats avlägsnades förseglingen och plattorna placerades i ett konstant klimat av 60 %RF vid 20°C. Uttorkningen varade normalt 14 eller 28 dygn. I några fall varade uttorkningen dock 120 dygn.

När torkningen avslutats applicerades 0.33 kg/m<sup>2</sup> alkalibeständigt gummilim jämnt över ytan. Efter 13 minuters öppethållandetid (60 % RF, +20°C) trycktes en 2 mm tjock syntetisk gummiytbeläggning fast. Limmet var av fabrikatet Akzo Nobel Casco Proff Solid 3480 och ytbeläggning av fabrikatet Freudenberg Novaplan.

Vid limningen drogs gummiytbeläggning ut ca 30 mm över den dubbla plastfolien samt limmades mot denna. Mellan den dubbla plastfolien och gummiytbeläggningen applicerades en adhesiv aluminiumremsa i syfte att förhindra fuktförluster i sidled i provkroppens överkant.

## **2.6 Golvvärme**

En elektrisk värmekabel med effekten 20 W/m placerades tillsammans med vatten i det ingjutna PEX-röret. Normalt kopplades värmen på omedelbart efter fuktmätningen före ytbeläggning.

Temperaturen i plattorna reglerades så att en jämn temperatur av 27°C uppnåddes på golvytan. Yttemperaturen kontrollerades med kvarsittande termoelement typ T som tejpats fast ovanpå gummimattan.

Regleringen av temperaturen skedde mot ett termoelement typ T som monterats under gummimattan. Anledningen till att regleringen skedde mot givare under mattan istället för direkt mot den eftersträvade yttemperaturen var att systemet befarades kunna överkompensera för temperaturvariationer som uppkommer på ytan till en följd av snabba variationer i rumsluften.

Det visade sig dock under projektets gång att det mycket väl gick att styra temperaturen mot givaren som tejpats ovanpå gummimattan. Detta förfarande har sedan använts med framgång i efterkommande delar av golvvärmestudien, Sjöberg & Nilsson (2007)<sup>10</sup>.

## 2.7 Sammanställning av provplattor

### Platta 1 – 12

- Gjutning: Betong med vct 0,41 eller 0,60.
- Härdning: Förseglad härdning 28 dygn.
- Avjämning: Ytan avjämnades direkt efter att härdningen avslutats.
- Uttorkning: Efter avjämning torkade ytan fritt i antingen 14 eller 28 dygn.
- Ytbeläggning: När torkningen avslutats applicerades golvbeläggningen på ytan.
- Provtagning: Första fuktmätningen skedde efter ytbeläggningen, innan värmen kopplats på.
- Värmerör: Plattor 1-8: Värmen kopplades på direkt efter ytbeläggning och provtagning.  
Plattor 9-12: Ingen värme.

### Platta 13,15

- Gjutning: Betong med vct 0,41 eller 0,60.
- Härdning: Förseglad härdning 1 dygn.
- Värmerör: Värmen kopplades på efter 1 dygn.
- Uttorkning: Efter härdningen torkade ytan fritt i 120 dygn.  
Värmen i de ingjutna värmerören var på under hela denna period.
- Provtagning: Första fuktmätningen skedde efter cirka 8 veckor.
- Ytbeläggning: När uttorkningen avslutats efter 120 dygn applicerades golvbeläggningen.
- Avjämning: Ingen avjämning utfördes på dessa plattor.

### Platta 14, 16

- Gjutning: Betong med vct 0,41 eller 0,60.
- Härdning: Förseglad härdning 28 dygn.
- Avjämning: Ytan avjämnades direkt efter att härdningen avslutats.
- Värmerör: Värmen kopplades på efter 28 dygn, dvs direkt efter avjämningen.
- Provtagning: Första fuktmätningen skedde efter cirka 8 veckor.
- Uttorkning: Efter härdningen torkade ytan fritt i 92 dygn.  
Värmen i de ingjutna värmerören var på under hela denna period.
- Ytbeläggning: När uttorkningen avslutats efter 120 dygn applicerades golvbeläggningen.

### Platta 17, 18

- Gjutning: Betong med vct 0,41 eller 0,60.
- Härdning: Förseglad härdning 28 dygn.
- Avjämning: Ytan avjämnades direkt efter att härdningen avslutats.
- Provtagning: Första fuktmätningen skedde efter cirka 8 veckor.
- Uttorkning: Efter härdningen torkade ytan fritt i 92 dygn.  
Värmen i de ingjutna värmerören var på under hela denna period.
- Ytbeläggning: När uttorkningen avslutats efter 120 dygn applicerades golvbeläggningen.
- Värmerör: Ingen värme.

En översikt över de 18 provplattorna ges i nedanstående tabell.

Tabell 2. Skillnaderna mellan de 18 provplattorna

Platta nr	vct	Rördjup	Härdning	Torktid	Golvvärme
1	0.4	30 mm	2 v	2 v	Efter matläggning
2				4 v	
3		100 mm		2 v	
4				4 v	
5	0.6	30 mm		2 v	
6				4 v	
7		100 mm		2 v	
8				4 v	
9	0.4		2 v	Ingen	
10			4 v		
11	0.6	2 v			
12		4 v			
13	0.4	30 mm	1 dygn	4 mån	Före matläggning
14			1 mån	3 mån	
15	0.6		1 dygn	4 mån	
16			1 mån	3 mån	
17	0.4		1 mån	3 mån	Ingen
18	0.6				



### **3. Mätförfarande**

Mätning av temperaturer och fuktfördelningar i plattorna skedde vid ett antal tillfällen för att studera startvillkor, omlagringsförlopp och slutnivåer. Vid varje tillfälle utfördes mätningarna på flera olika nivåer i plattan för att kunna beskriva profiler och fukttransportriktningar.

En sammanställning av tidpunkterna för fuktprovtagningen ges i bilaga B. Temperaturen avlästes parallellt med fuktprovtagningen.

#### **3.1 Temperaturmätningar**

Mätning av temperaturprofiler utfördes med kvarstannande termoelement typ-T som monterats på särskild ställning i formen och gjutits in i betongen, se avsnitt 2.1. Temperaturen avlästes manuellt, genom att koppla in ett handinstrument till givarna i samband med respektive RF-mätning.

#### **3.2 Fuktmätningar**

Fuktmätningarna skedde huvudsakligen med RF-mätning på uttagna provbitar. Betongbitarna togs ur betongplattan på olika djup vid olika tillfällen och lades i provrör som direkt förslöts med gummipluggar. Provrören förvarades under hela mätningen i ett temperaturstabilt rum. Mätningen utfördes med noggrant kalibrerade RF-givare av fabrikatet Vaisala HMP 44. Förfarandet följde i allt väsentligt metodiken i RBK-manualen, Sveriges Byggindustrier (2001).

Golvvärmens var påslagen under hela provtagningsförloppet.

Som en förstudie till projektet provades att mäta fukt med kvarstannande givare av typen Vaisala HMP 44. Temperaturgradienter i plattan med golvvärme samt temperaturskillnader mellan sensor och betong visade sig ge stora problem med kondens i rören och orimliga mätvärden. Denna metod användes därför inte mer i projektet.

Mätningar av fuktkvot har utförts parallellt med RF-mätningar i projektet. Eftersom denna metod innebär orimligt stora osäkerheter vid mätningar i betong redovisas inte dessa värden i denna rapport. Dock finns interpolerade mätvärden redovisade i en intern arbetsrapport av Persson (2006).

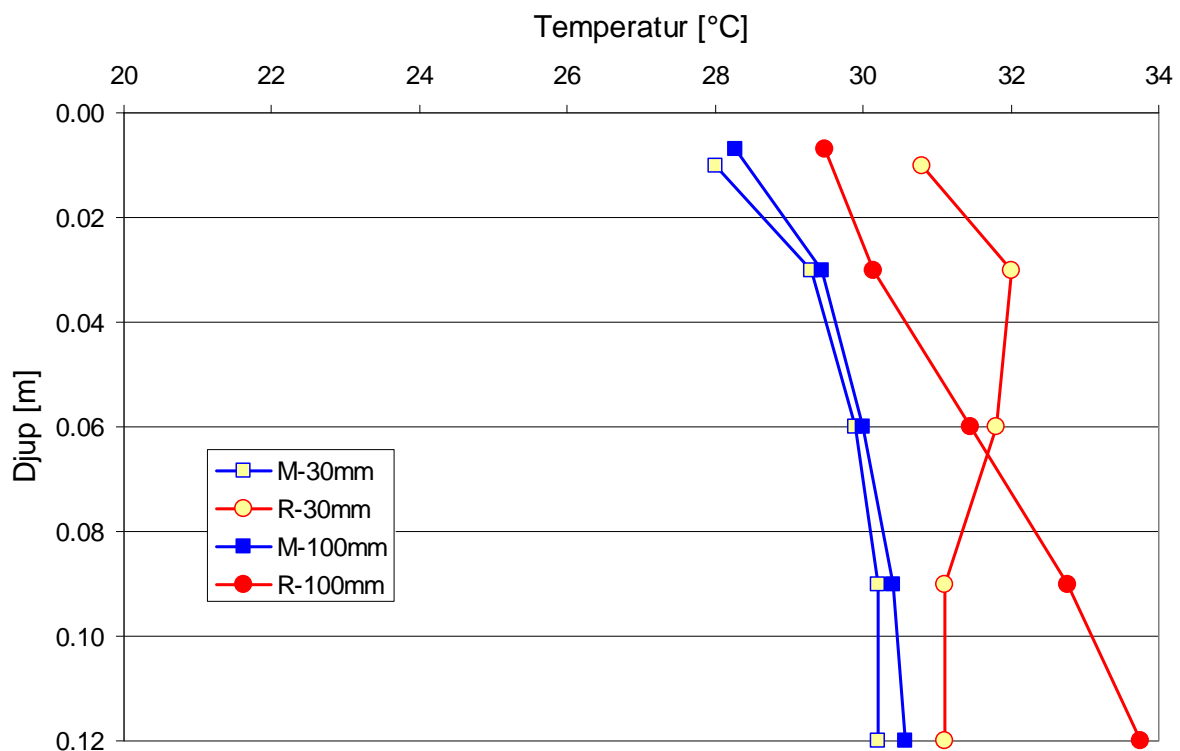
## 4. Mätresultat

I bilaga A finns en komplett uppsättning mätresultat sammanställt för samtliga plattor.

### 4.1 Temperaturprofiler

Temperaturavläsningen har skett utan hänsyn till om värmeslingorna var på- eller avslagna. Detta har fått till följd att temperaturprofilerna ibland är till synes orimliga. Samtliga uppmätta temperaturprofiler redovisas som grafer i bilaga A.

I figur 4 visas de rimliga temperaturprofilerna som utvärderats ur mätningarna. M står för profil mellan värmeslingor och R står för temperaturprofil invid värmeslingorna. 30 och 100 mm anger djupet som värmeslingorna är placerade på i de olika fallen.



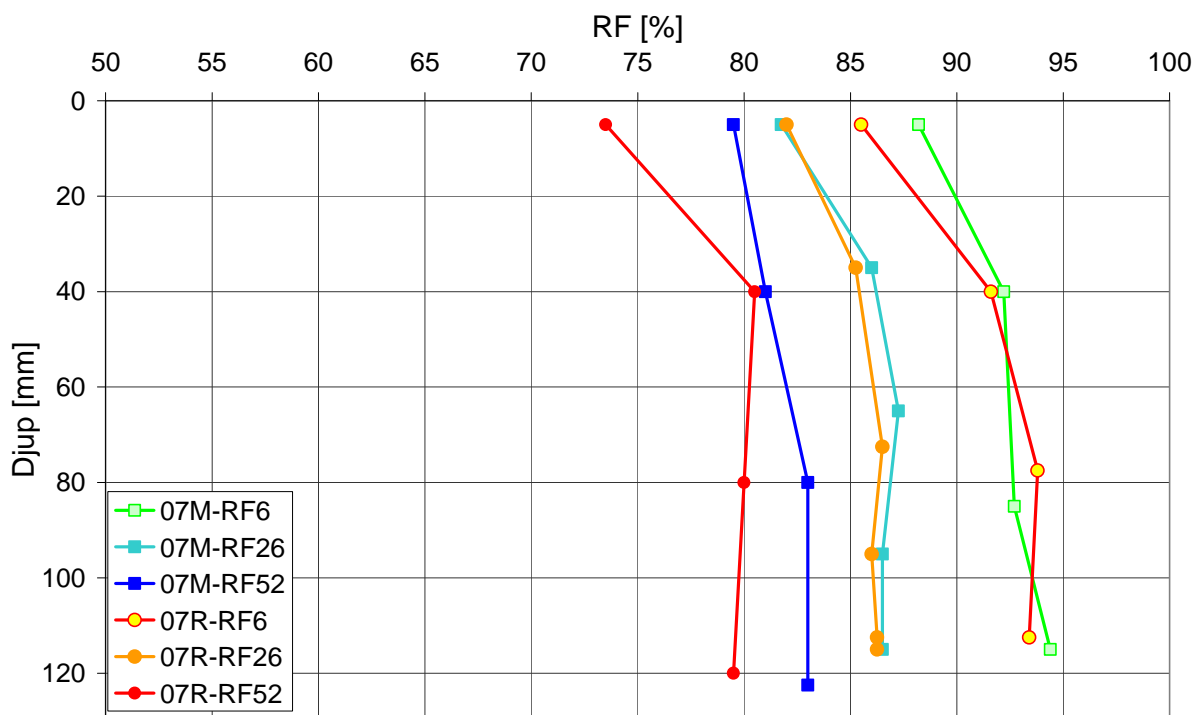
Figur 4. Temperaturprofiler som utvärderats ur mätningar mellan (M) och invid (R) värmeslingor för två olika fall. Slingor är placerade på 30 resp. 100 mm djup i betongen.

Som förväntat har det inte varit möjligt att utvärdera någon signifikant skillnad mellan temperaturprofilerna för de olika betongkvaliteterna.

## 4.2 Fuktnivåer, exempel

RF-mätningar utfördes på flera nivåer i plattan vid varje mättillfälle så att kompletta fuktprofiler kunnat fastställas. Genom att utföra fuktmätningar vid upprepade tillfällen kunde uttorkning och omlagring av fukt i plattorna efter golvbeläggningen utvärderas. Samtliga mätresultat redovisas i Bilaga A.

Ett exempel på uppmätta fuktprofiler visas i figur 5, för olika tidpunkter (6, 26 respektive 52 veckor) efter gjutning, dels i ett snitt genom värmerören och dels i ett snitt mittemellan rören.

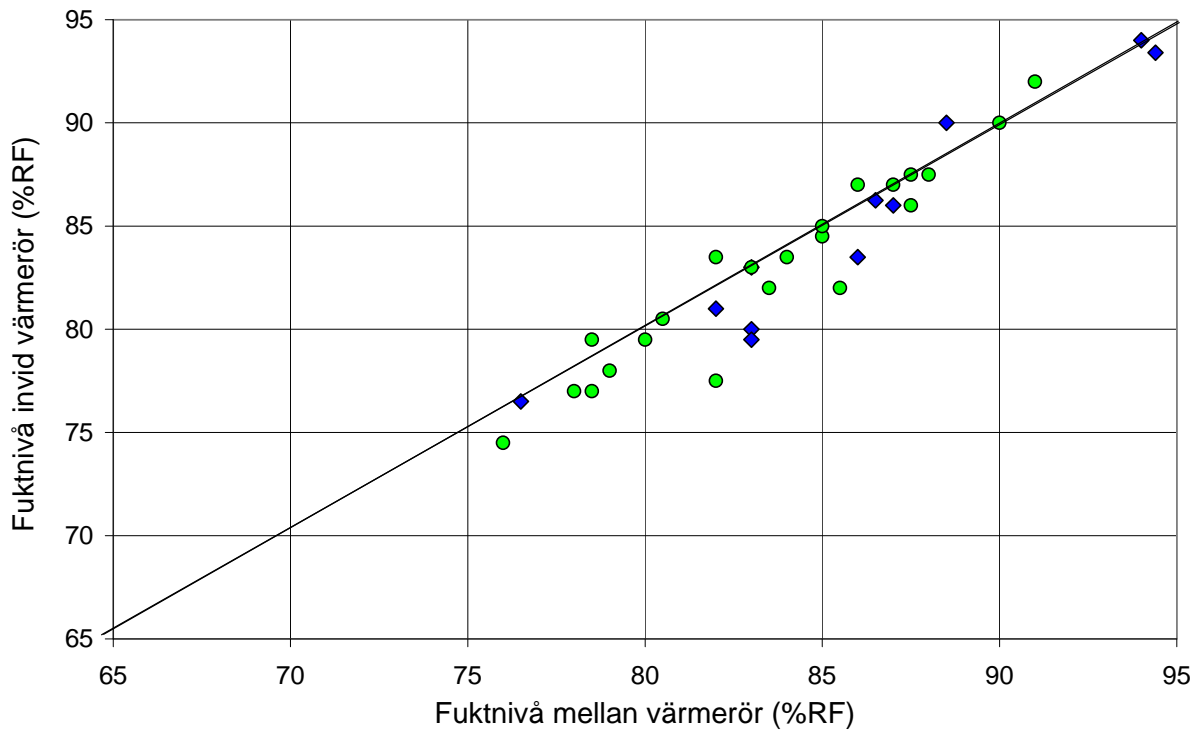


Figur 5. Exempel på uppmätta RF-profiler, platta 07, betongplatta med vct 0.60 och värmerören placerade i botten. Härdning 2 veckor följt av uttorkning 2 veckor varefter mattan applicerades och golvvärmens sattes på.

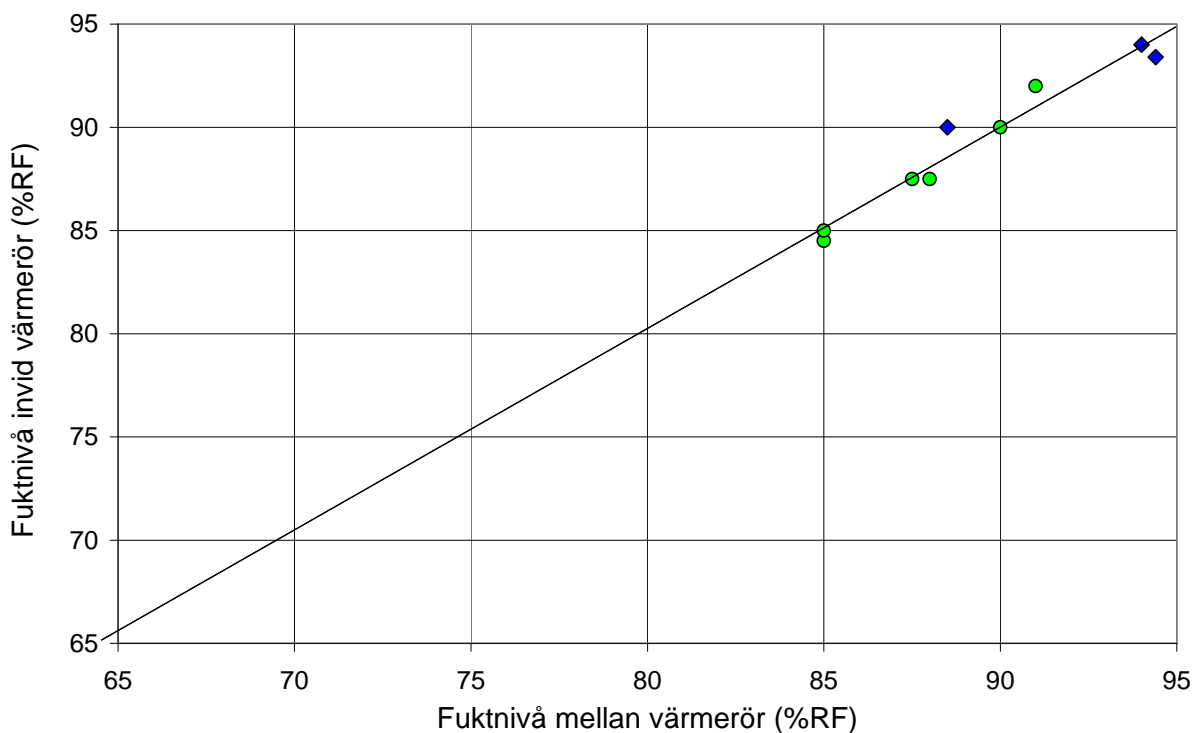
## 4.3 Fuktnivåer, sammanställning

Även om försöksplanen är sådan att parvisa jämförelser av olika effekter skulle vara möjlig, innebär mätosäkerheten och de ofta små skillnaderna att en sådan enkel utvärdering inte ger en klar bild. Ur alla uppmätta fuktprofiler, se Bilaga A, har istället en sammanställning gjorts för att ge en överblick. En statistisk utvärdering av mätresultaten görs sedan i nästa kapitel.

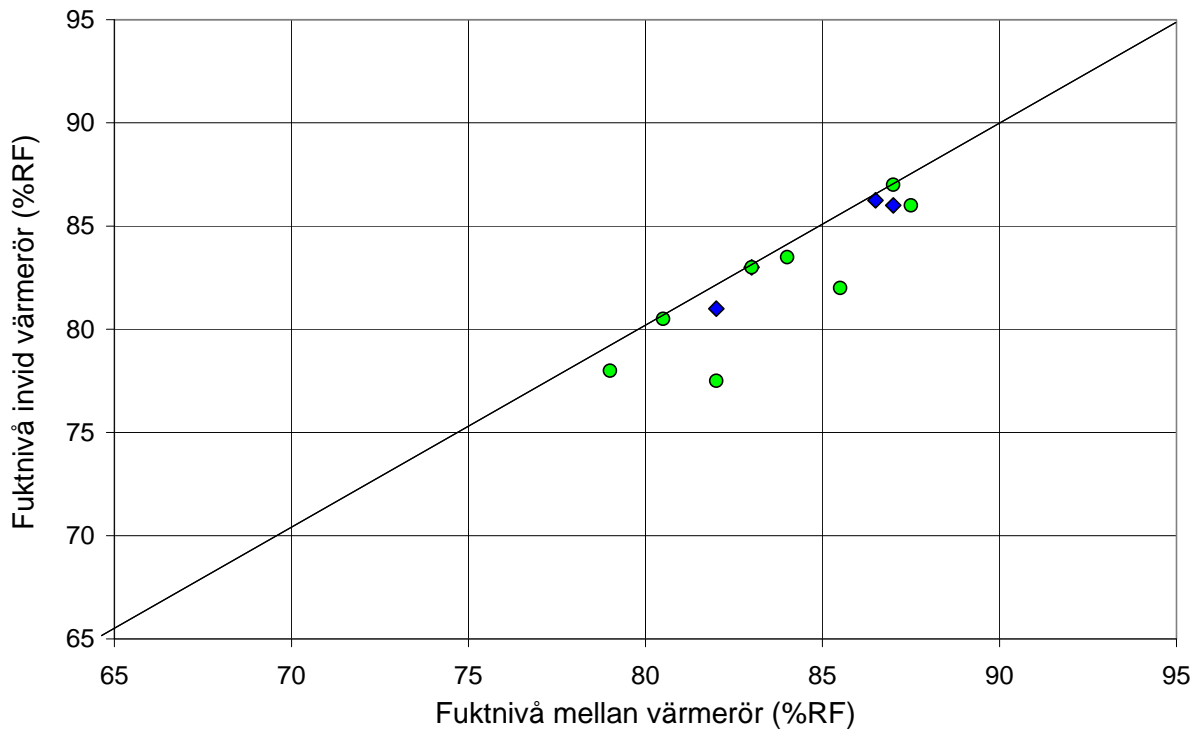
Nedanstående figurer visar sambanden mellan uppmätta fuktnivåer i betongen invid (R) och mittemellan (M) värmerören i varje platta. Mätningarna är gjorda på ungefär samma djup som slingorna är placerade. (gröna) ringar anger mätvärden där slingornas placering är 30 mm djup och (blå) fyrkanter anger mätvärden i de fall djupet är 100 mm. Mätningar är utförda 6, 26 och 52 veckor efter gjutning.



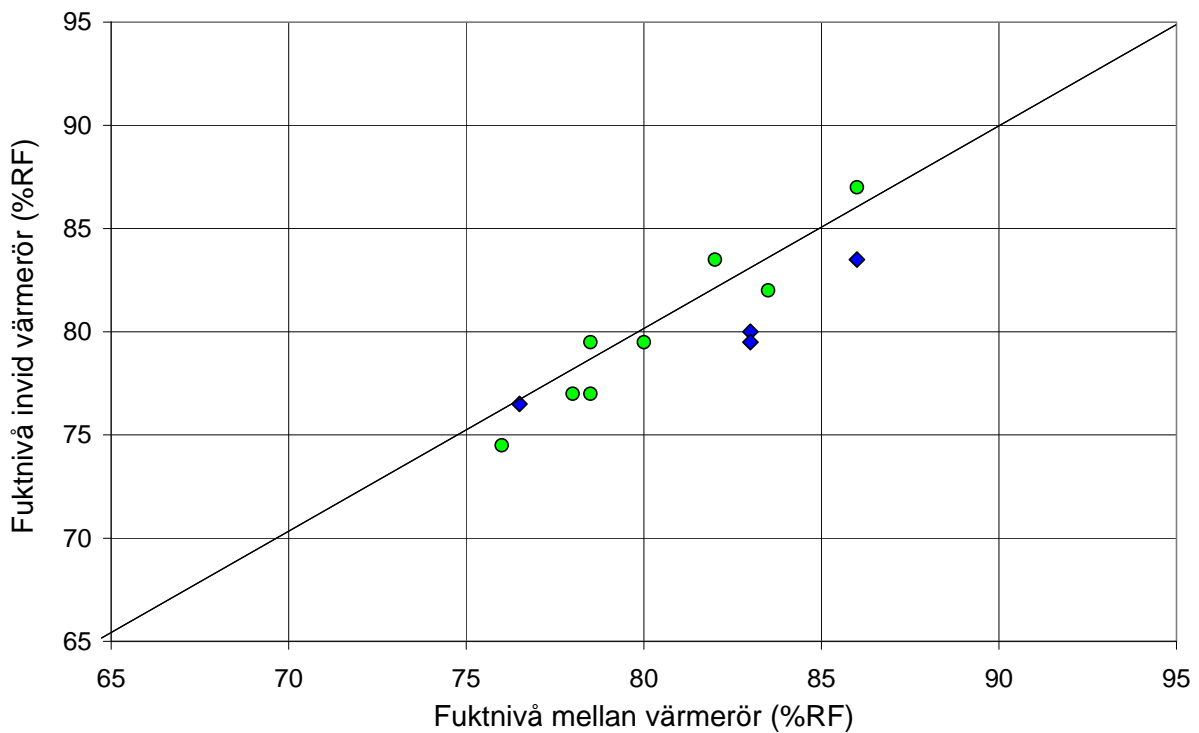
Figur 6a. Jämförelse mellan uppmätta RF intill och mellan värmerör. Värmerör 30 mm djupt (ringar) respektive 100 mm djupt (fyrkanter). Alla mätvärden.



Figur 6b. Jämförelse mellan uppmätta RF intill och mellan värmerör. Värmerör 30 mm djupt (ringar) respektive 100 mm djupt (fyrkanter). Mätningar 6 veckor efter gjutning.



Figur 6c. Jämförelse mellan uppmätta RF intill och mellan värmerör. Värmerör 30 mm djupt (ringar) respektive 100 mm djupt (fyrcanter). Mätningar 26 veckor efter gjutning.



Figur 6d. Jämförelse mellan uppmätta RF intill och mellan värmerör. Värmerör 30 mm djupt (ringar) respektive 100 mm djupt (fyrcanter). Mätningar 52 veckor efter gjutning.

## 5. Statistisk utvärdering av mätresultaten

I detta kapitel redovisas en statistisk utvärdering av mätresultaten. Utvärderingen bygger på ett värde från varje uppmätt fuktprofil. Det är ett medelvärde av RF på de olika nivåer som uppmätts i betongen. Resultaten från samtliga mätningarna i varje enskild platta redovisas noggrant i bilaga A.

### 5.1 Flerfaktorförsök på två nivåer

Sättet som ingående parametrar har varierades när provkropparna tillverkades möjliggör att försöksserien kan delas upp i fyra olika delar och utvärderas separat. Utvärderingen av dessa delar sker som flerfaktorförsök i två nivåer, se exempelvis Bergman (1992)<sup>11</sup>.

### 5.2 Utvärdering av övergripande faktorer för hela serien

Hela försöksserien består av två serier med provkroppar som tillverkats på olika sätt eftersom de har haft olika syfte. I detta avsnitt utvärderas de övergripande parametrarna från hela studiens material. I senare avsnitt har studien delats upp i fyra delar för att kunna detaljstudera fler parametrar. Se bilaga B och Tabell 3.

Det visar sig i resultatet att faktor A, B och C har stor inverkan på medelfuktnivån i samtliga mätningar. Resultaten av den statistiska analysen framgår av tabell 3 och figur 7.

Tabell 3. Effekten av fyra olika faktorer i två nivåer

Parameter	A	B	C	D
Beskrivning	VCT	Torkvärme	Värme.	Provtagning
+	0.41	påslagen	värme	vid rör
-	0.60	ej	ref	mellan
Effekt (%RF)	-4	-3.5	-3	-1

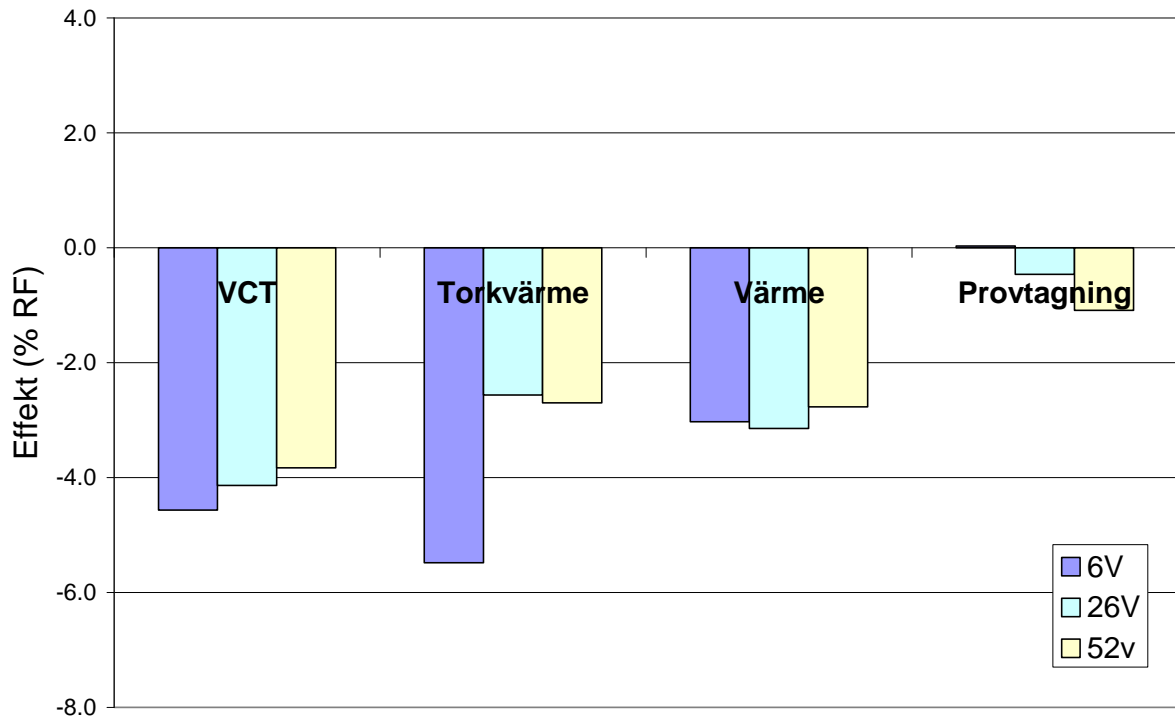
De övergripande parametrarna samt deras effekter är;

A = betong med låg vct (0.41), sänkte medelfuktnivån med i storleksordningen 4 % RF i förhållande till normal husbyggnadsbetong med vct 0.60.

B = torkvärme, dvs golvvärmen på under uttorkningsperioden innan matläggning, sänkte medelfuktnivån i den första mätningen med ca 5.5 % RF. Den bestående sänkningen efter ½-1 år var dock i storleksordningen 2.5 % RF.

C = att över huvud taget använda golvvärme gav en bestående sänkning av medelfuktnivån på ungefär 3 % RF. I praktiken innebär detta att golvvärmen varit påslagen någon gång under studien. Både om den varit påslagen under uttorkningen och under omfördelningen av fuktprofilen efter att den täta beläggningen applicerats.

D = provtagningsplatsen inverkar på fuktnivån så att RF intill röret var lägre jämfört med mitt mellan rören. Skillnaden var i genomsnitt 1 % RF lägre intill det varma röret.



Figur 7. Effekter av de fyra olika parametrarna vid tre mättillfällen. A = vct, B = värme påslagen under torktiden, C = golvvärme i plattan, D = fuktprov uttaget intill/mellan värmeslingorna.

### 5.3 Omfördelning av fuktprofil med golvvärme efter mattläggning

Den första delen av försöksserien innefattar de första åtta provkropparna som alla belades med matta innan golvvärmen kopplades på. I denna del kan man utvärdera effekten, av fyra olika parametrar, på omfördelning av fuktprofilen under en tät beläggning.

Plattorna göts med två olika sorters betong, med vct 0.41 och 0.60, där det lägre vct anses ha en gynnsam verkan på uttorkningen. Lågt vct anges därför som den höga nivån, se tabell 4. Samtliga plattor härdades förseglade under en plastfilm i 14 dygn och avjämnades därefter.

Därefter torkade plattorna 14 eller 28 dygn. Den längre torktiden har satts som den höga nivån eftersom det rimligen är gynnsamt för uttorkningen. Direkt efter respektive plattas uttorkningstids slut skedde ytbeläggning och första provtagning av fuktprofiler. Därefter sattes golvvärmen på.

Slingornas placering i betongplattan varierade mellan två djup. 30 och 100 mm. Djupet 100 mm sattes till den högsta nivån eftersom detta kan ha bäst förutsättningar att trycka bort fukten från den annars svårtorkade bottendelen av plattan.

Två fuktprofiler uppmättes i varje betongplatta vid varje mättillfälle. Ena profilen uppmättes mitt mellan de båda värmerören och den andra profilen uppmättes tätt intill det ena värmeröret. Profilen intill värmeröret sattes till den höga nivån eftersom den ansågs kunna bli torrare.

I tabell 4 sammanställs samtliga faktorer, deras nivåer samt resultatet i form av medelfuktnivå vid de tre mättillfällena 6 veckor (M1), 26 veckor (M2) samt 52 veckor (M3) efter gjutning. Då tre profiler inte uppmättes vid första mättillfället har även en fjärde mätning uteslutits för att skapa balans i utvärderingen.

Tabell 4. Fyra olika faktorer i två nivåer

Parameter	A	B	C	D
Beskrivning	VCT	Slingor	Tork	Värme
+	0.4	100mm	28D	vid rör
-	0.66	30mm	14D	mellan
Effekt (%RF)	-4	-(0-2)	1-3	0-1

Resultatet från flerfaktorsförsöket för medelfuktnivån, provkropparna 1-8, redovisas också i figur 8. Staplarna i diagrammet symboliserar den förändring i RF som varje faktor bidragit till. Ett negativt värde innebär att medelfuktnivån har minskat, det vill säga att betongen kan beskrivas ha blivit torrare.

Den faktorn som har störst inverkan är faktor A, betongens vct, som sänkte medelfuktnivån med över 5 % RF vid det första mättillfället, M1. I de följande mätningarna blir effekten något mindre, omkring 4 % RF-sänkning.

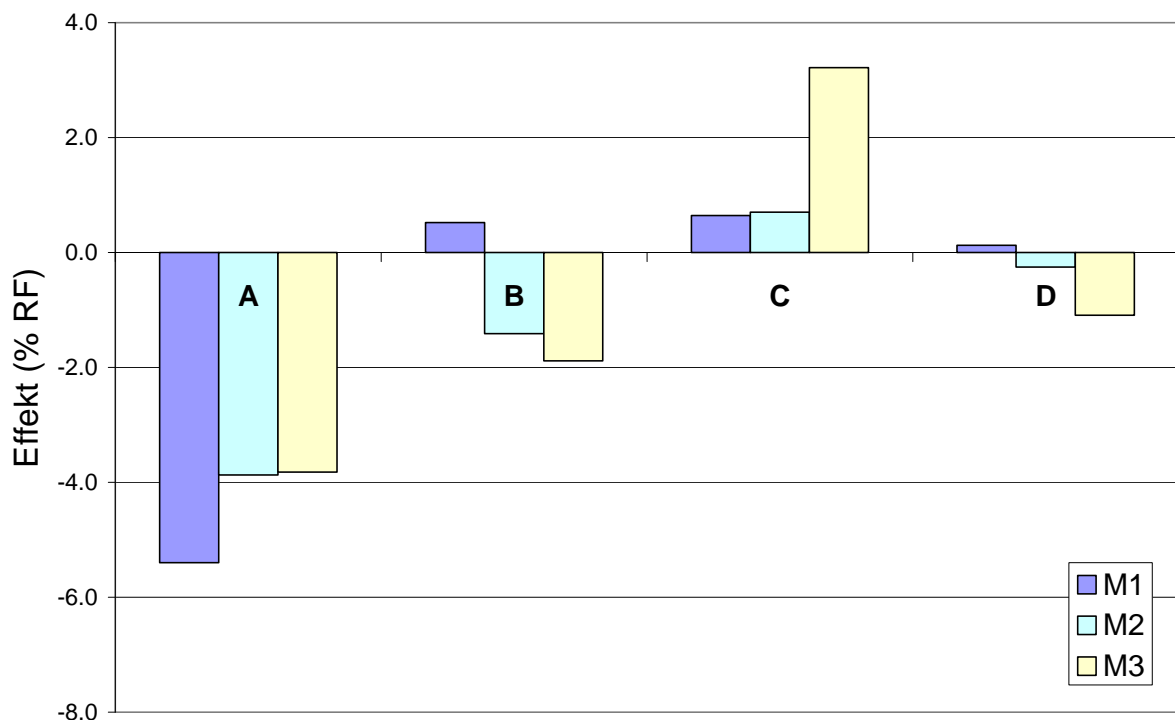
Faktor B, slingornas placering, hade ingen nämnvärd påverkan på resultatet vid M1 vilket är rimligt eftersom värmeslingorna inte varit inkopplade än! I nästkommande mätningar då slingorna varit inkopplade har slingplacering på 100 mm en sänkande effekt på medelfuktnivån jämfört med slingor på 30 mm djup. Effekten verkar dessutom bli större ju längre tiden går.

Faktor C, uttorkningsperiodens längd, uppvisar en till synes orimlig respons där medelfuktnivån ökar efter 28 dygns torktid jämfört med 14 dygn. Det omvända förhållandet vore att förvänta, alltså att medelfuktnivån minskar med längre uttorkningstid. Sannolikt är



denna avvikelse från förväntat värde en följd av att plattorna 3 och 7, som torkat 14 dygn, genomgående har lägre medelfuktnivån än motsvarande plattor som torkat 28 dygn, platta 4 respektive 8. Platta 3 och 7 är de första plattorna som tillverkades i projektet. De göts på våren till skillnad från de övriga tio plattorna som göts under sommaren och hösten. Det går därför inte att utesluta att den lägre medelfuktnivån är en följd av annorlunda uttorkningsklimat för de första plattorna.

Faktor D, visar att det naturligtvis inte är någon märkbar skillnad mellan medelfuktnivån vid slingorna och mellan dem vid M1 eftersom de inte varit inkopplade då. I nästkommande mätningar då slingorna varit inkopplade har betongen intill slingorna en något lägre medelfuktnivå än betongen mitt mellan slingorna. Denna skillnad verkar dessutom bli större ju längre tiden går.



Figur 8. Effekter av de 4 olika parametrarna vid tre mättillfällen, 6, 26 samt 52 veckor efter gjutning. A = vct, B = värmeslingornas placeringsdjup, C = uttorkningstid innan mattläggning, D = fuktprov vid/mellan slingorna.

## 5.4 Omfördelning av fuktprofil utan golvvärme

Denna försöksserie omfattar fyra provkroppar utan golvvärme som alla belades med matta. Provkropparna är tillverkade som referenser utan golvvärme till de åtta provkroppar som redovisats ovan. Plattorna är tillverkade på exakt samma sätt som de ovanstående plattorna med enda skillnaden att dessa inte innehåller några golvvärmeslingor. Därför kan de inte heller tillföras värme efter mattläggning utan håller samma temperatur som klimatrummet de lagras i, ca 20°C.

Även i dessa betongplattor uppmättes två fuktprofiler varje vid varje mättillfälle. Fuktprofilerna mättes på samma ställen som i plattorna med golvvärmeslingor, dvs ena profilen mitt i plattan och den andra ungefär mitt mellan mitten och kanten av plattan. Profilen intill kanten sattes till den höga nivån eftersom den möjligtvis ansågs kunna bli torrare genom ett möjligt men högst osannolikt läckage i sidled, se tabell 5.

I tabell 5 sammanställs samtliga faktorer, deras nivåer samt resultatet i form av medelfuktnivå vid de tre mättillfällena 6 veckor (M1), 26 veckor (M2) samt 52 veckor (M3) efter gjutning.

Tabell 5. Tre olika faktorer i två nivåer

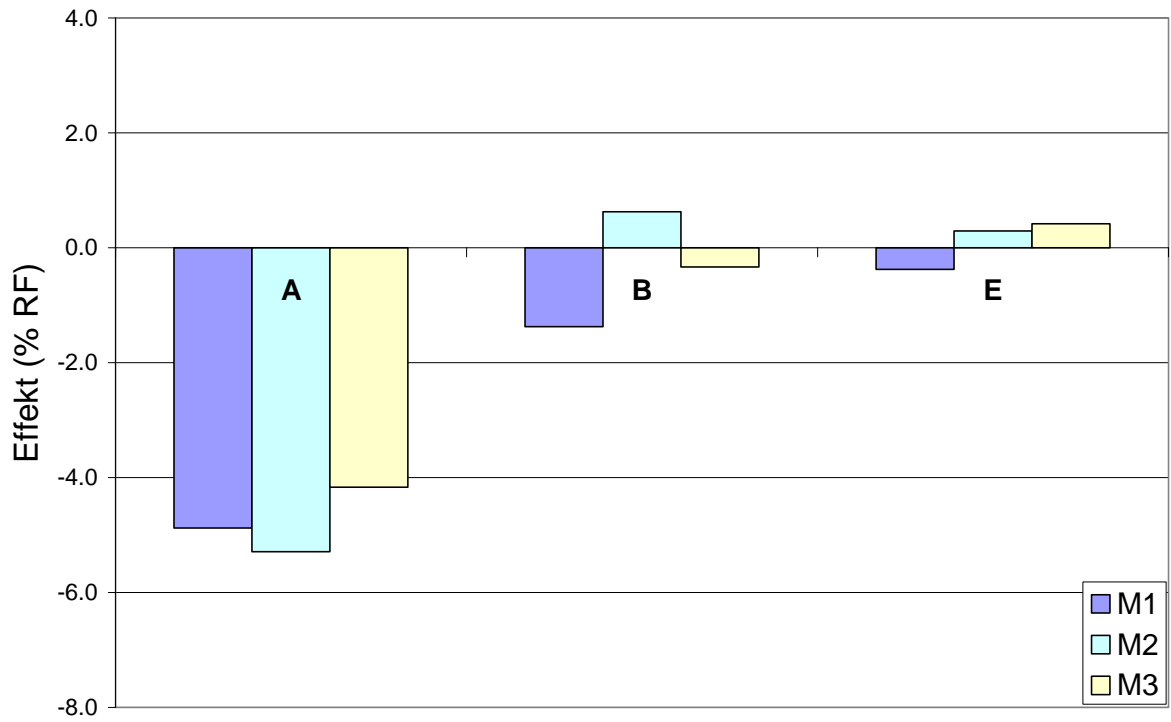
Parameter	A	B	E
Beskrivning	VCT	Tork	Plats
+	0.4	28D	kant
-	0.66	14D	mitt
Effekt (%RF)	-(4-5)	-1-1	0

Resultatet från flerfaktorsförsöket för medelfuktnivån, provkroppar 9-12, redovisas också i figur 9. Staplarna i diagrammet symboliserar den förändring i RF som varje faktor har bidragit till. Ett negativt värde innebär att medelfuktnivån har minskat, det vill säga att betongen kan beskrivas ha blivit torrare.

Faktor A, betongens vct, har störst sänkande effekt på medelfuktnivån även i denna serie. Som i ovanstående utvärdering ligger effekten av vct på i storleksordningen 4-5 % RF.

Faktor B, uttorkningstid, visar i denna utvärdering en rimlig respons vid första mätningen. Ju längre plattorna torkat innan golvbeläggningen applicerats desto torrare är betongen. Vid andra mätningen har dock responsen blivit den omvända för att slutligen bli den rimliga igen vid sista mätningen ett år efter gjutning. Det verkar högst osäkert att uttala sig om denna faktors egendomliga inverkan.

Faktor E, om provet är taget i kanten eller mitten av plattan borde rimligen inte ha någon inverkan på medelfuktnivån. Effekten är mycket riktigt så liten att den kan sannolikt anses försumbar.



Figur 9. Effekter av de tre olika parametrarna vid tre mättillfällen, 6, 26 samt 52 veckor efter gjutning. A = vct, B = uttorkningstid innan matläggning, E = fuktprov uttaget vid mitten/"kanten" av plattan.

## 5.5 Uttorkning och omlagring med golvvärme före mattläggning

Denna del av försöksserien innefattar fyra provkroppar som alla hade golvvärmen på under en förlängd uttorkningstid. Därefter limmades en tät beläggning på och omfördelning av fuktprofilen skedde.

Plattorna göts med två olika sorters betong, vct 0.4 och 0.60 där det lägre vct anses ha en gynnsam verkan på uttorkningen. Lågt vct anges därför som den höga nivån, se tabell 5.6. Två av plattorna (13, 15) härdades förseglade under en plastfilm i 1 dygn och de andra två (14, 16) härdades på samma sätt i 28 dygn och avjämnades därefter. Platta 13 och 15 avjämnades inte.

Golvvärmerna kopplades på direkt sedan härdningen avslutats i samtliga fyra fall. Slingorna var placerade på 30 mm djup i samtliga plattor. Därefter torkade plattorna tills de var 120 dygn gamla. Det innebär att platta 13 och 15 fick torka i 119 dygn och platta 14 och 16 fick torka i 92 dygn. Den längre torktiden har satts som den höga nivån eftersom det rimligen är gynnsamt för uttorkningen.

Den första mätningen skedde när plattorna var 8 veckor gamla, det vill säga när plattorna torkat ungefär 8 respektive 4 veckor. Två fuktprofiler uppmättes i varje betongplatta vid varje mättillfälle. Ena profilen uppmättes mitt i mellan de båda värmerören och den andra profilen uppmättes tätt intill det ena värmeröret. Profilen intill värmeröret sattes till den höga nivån eftersom den ansågs kunna bli torrare.

Tabell 6. Tre olika faktorer i två nivåer

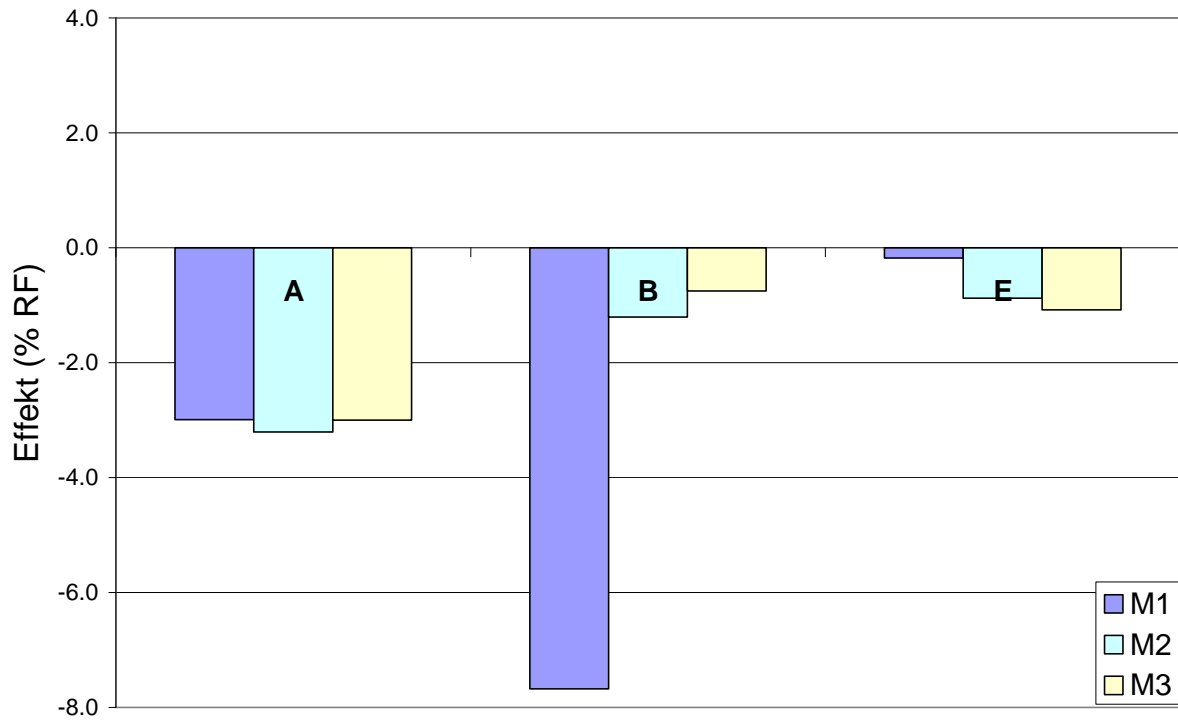
Parameter	A	B	E
Beskrivning	VCT	Tork	Värme
+	0.4	119	Rör
-	0.66	92	Mellan
Effekt (%RF)	-3	-(7.5-1)	-(0-1)

Resultatet från flerfaktorsförsök för medelfuktnivån, provkroppar 13-16, redovisas i tabell 6 och figur 10. Staplarna i diagrammet symboliserar den förändring i RF som varje faktor bidragit till. Ett negativt värde innebär att medelfuktnivån har minskat, det vill säga att betongen kan beskrivas ha blivit torrare.

Faktor A, betongens vct, har störst sänkande effekt på medelfuktnivån även i denna serie, se figur 10. Effekten är något mindre i denna utvärdering än i de som redovisas i tidigare avsnitt. Här ligger effekten på i storleksordningen 3 % RF mot tidigare 4-5 % RF.

Faktor B, har störst inverkan på medelfuktnivån vid första mättillfället därefter minskar effekten. Detta är helt rimligt om man betänker att vid första mättillfället har den ena uppsättningen torkat dubbelt så länge som den andra. 8 veckor mot 4 veckor, båda uppsättningarna har dock haft golvvärmen inkopplad hela torktiden. Efter hand minskar den relativa skillnaden i torktid och därmed även skillnaden i medelfuktnivå.

Faktor E, provtagning vid eller mellan rör har en liten effekt som ökar med tiden. Efter ett år är skillnaden ungefär 1 % RF.



Figur 10. Effekter av de 4 olika parametrarna vid tre mättillfällen, 6, 26 samt 52 veckor efter gjutning. A = vct, B = uttorkningstid innan matläggning, E = fuktprov taget vid/mellan slingorna.

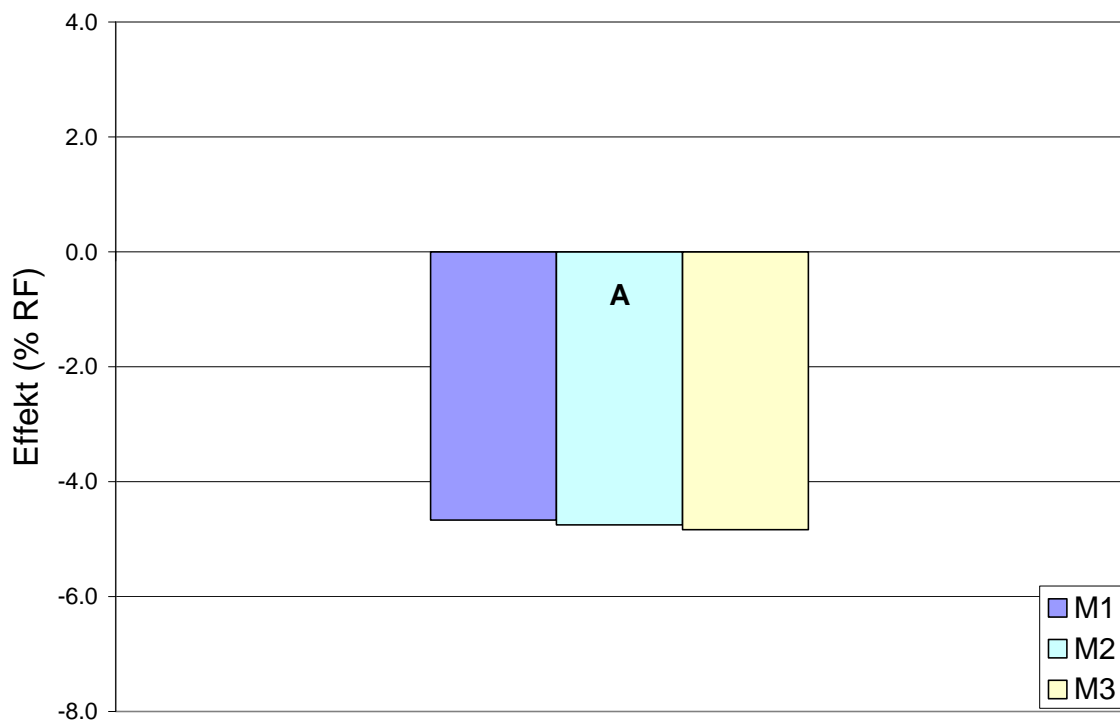
## 5.6 Uttorkning och omlagring utan golvvärme, lång uttorkningstid

Denna del av försöksserien innefattar två provplattor (17-18) som inte hade golvvärme. Plattorna härdades förseglade under en plastfilm i 28 dygn och avjämnades därefter. Efter en uttorkningstid på 92 dygn limmades en tät beläggning på och omfördelning av fuktprofilen skedde.

Plattorna göts med två olika sorters betong, vct 0.41 och 0.60 där det lägre vct anses ha en gynnsam verkan på uttorkningen. Lågt vct anges därför som den höga nivån.

Den första mätningen skedde när plattorna var 8 veckor gamla, det vill säga när plattorna torkat ungefär fyra veckor. Två fuktprofiler uppmättes i varje betongplatta vid varje mättillfälle.

Resultatet av den statistiska analysen visas i figur 11 för de tre mättillfällena. Effekten av vct är något mer än 4 % RF vid alla tre tillfällena.



Figur 11 Effekten av den varierade parametern,  $A = vct$ , vid tre mättillfällen, 6, 26 samt 52 veckor efter gjutning.

## 6. Materialdata för beräkningar av fukttransport under temperaturgradient

### 6.1 Problemställning

För beräkningar av fuktförhållanden i golv med golvvärme krävs att man behärskar att beräkna fukttransport under en temperaturgradient. Tidigare försök att klarlägga detta, Sjöberg et al (2002), har misslyckats.

Nu har noggranna fuktmätningar i golv med golvvärme utförts, som beskrivits i tidigare kapitel och med resultat enligt Bilaga A. Avsikten är att ur dessa mätresultat utvärdera hur fukttransport under en temperaturgradient skall beskrivas. Metoden att göra det är att genomföra beräkningar med olika fukttransportantaganden och jämföra beräkningsresultaten med erhållna mätvärden. Det fukttransportantagande som då ger resultat som stämmer bäst med mätvärdena, får tillsvidare anses vara det bästa. Detta används sedan i de beräkningar av lämpligt mätdjup som redovisas i ett senare kapitel.

### 6.2 Teori

Fukttransport beskrivs i Sverige traditionellt med ånghalten  $v$  i materialet som fukttransportpotential. Fuktflödesekvationen blir då, i en dimension

$$g = -\delta_{tot}(RF) \cdot \frac{\partial v}{\partial x} \quad (\text{ekv. 1})$$

där fukttransportkoefficienten  $\delta_{tot}(RF)$  beskriver den totala fukttransporten, dvs ångdiffusion, kapillärtransport och transport av adsorberat vatten. Transportkoefficienten är starkt fuktberoende och ökar med ökande RF. Den kan mätas på olika sätt, se t ex Hedenblad (1993)<sup>12</sup> och Nilsson (2006)<sup>13</sup>, och har mätts upp för t ex olika betongkvaliteter av Hedenblad (1993).

Ekvation 1 duger bara under isoterma förhållanden där det inte förekommer temperaturgradienter. Vid temperaturgradienter är det inte alls säkert att ånghalten ensam fungerar som en bra fukttransportpotential. Istället krävs en fuktflödesekvation som innehåller två termer. Det finns för närvarande ingen konsensus kring vilka två termer som är att föredra, men vilka beskrivningssätt man än använder kan man alltid räkna om dem i varandra. Ett sätt att beskriva fuktflödet, som använts här, är att dela upp det i en term för ångdiffusion och en term för vätsketransport, med ånghalten  $v$  respektive portvattentrycket  $P_w$  som transportpotential. Fuktflödesekvationen blir då

$$g = -\delta(RF) \cdot \frac{\partial v}{\partial x} - k_p(RF) \cdot \frac{\partial P_w}{\partial x} \quad (\text{ekv. 2})$$

där fukttransportkoefficienten  $\delta(RF)$  nu bara beskriver en del av fukttransporten. Permeabiliteten  $k_p$  beskriver den andra delen. Båda är naturligtvis fuktberoende och inga konstanter.

Det stora problemet är att det är mycket svårt att mäta de båda fukttransportkoefficienterna. Endast det totala fuktflödet kan mätas och det är svårt att dela upp resultatet i de båda termerna i ekvation 2. Det har hittills inte lyckats att utvärdera denna uppdelning för betong.

Istället kan man göra antaganden om hur den totala fukttransporten enligt ekvation 1, vars fukttransportkoefficient  $\delta_{tot}$  finns uppmätt, skall delas upp i de två termerna i ekvation 3. Ett sätt att göra det är följande.

Fukttransportkoefficienten i ekvation (6.2a) delas i två olika fukttransportkoefficienter  $\delta$  och  $\delta_p$ , där  $\delta$  är densamma som i ekvation (6.2b)

$$g = -\delta(RF) \cdot \frac{\partial v}{\partial x} - \delta_p(RF) \cdot \frac{\partial v}{\partial x} \quad (\text{ekv. 3})$$

Genom att anta hur uppdelningen av den under isoterma förhållanden uppmätta  $\delta_{tot}$  skall ske, kan  $\delta_p$  kvantifieras på detta sätt, som skillnaden mellan  $\delta_{tot}$  och  $\delta$ . Därefter kan  $\delta_p$  räknas om till  $k_p$  med hjälp av följande samband, Mattson (2001)

$$\delta_p(RF) \cdot \frac{\partial v}{\partial x} = k_p(RF) \cdot \frac{\partial P_w}{\partial x} \quad \text{dvs} \quad k_p(RF) = \delta_p(RF) \frac{\partial P_w}{\partial v} \quad (\text{ekv. 4})$$

Vid konstant temperatur kan derivatan  $dP/dv$  erhållas ur Kelvinekvationen

$$P_w \approx \frac{RT\rho}{M} \ln(\varphi) = \frac{RT\rho}{M} \ln\left(\frac{v}{v_m(T)}\right) \quad \text{dvs} \quad \frac{\partial P_w}{\partial v} = \delta_p \cdot \frac{\varphi \cdot v_m(T) \cdot M}{RT\rho} \quad (\text{ekv. 5})$$

där  $R$  är allmänna gaskonstanten,  $T$  absoluta temperaturen,  $\rho$  är vattnets densitet,  $M$  är vattens molvikt,  $\varphi$  är relativa fuktigheten  $RF$  och  $v_m(T)$  är mättnadsånghalten. Vid  $+30^\circ\text{C}$  blir sambandet  $k_p = 2.3 \cdot 10^{-10} \delta_p$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}/(\text{N}\cdot\text{s})$ ], med  $\delta_p$  i  $\text{m}^2/\text{s}$ . Sambandet är alltså något temperaturberoende, vilket har försumrats här eftersom det bara användas för temperaturskillnader på några få grader Celsius, kring golvvärmerör.

### 6.3 Förstudiens parameteruppsättningar

Fukttransportegenskaperna hos ny betong ändras med tiden. Under de första månaderna utvecklas materialstrukturen hos den unga betongen och porsystemet börjar först därefter anta sin slutliga form. Denna förändring kommer att fortsätta så länge det finns vatten i betongen som kan reagera, men takten avtar avsevärt efter de första månaderna.

Förändring av fukttransportegenskaper över tiden får till följd att de värden som uppmätts hos gammal, välhärdad betong inte utan vidare kan överföras till ung betong. Fukten transporteras lättare i den unga betongen än i den gamla betongen. Detta förklaras med att både ång- och vätskepermeabilitet är större i den unga betongen.

Det finns få tillförlitliga värden för fukttransportegenskaper på ung betong publicerade. Därför är diffusionskoefficienten för total fukttransport ( $\delta_{tot}$ ) framtagen genom en rimlig förhöjning av mätvärden på gammal betong. I figur 11 nedan redovisas  $\delta_{tot}$  (dtot) och uppmätta diffusionskoefficient för gammal betong (Ref dtot) som är hämtad ur Hedenblad (1993).

Fördelningen av fukttransport mellan ång- och kapillärtransport har tidigare inte utretts på tillfredsställande sätt. Därför finns det inga säkra uppgifter om hur en sådan uppdelning skall ske. I projektets förstudie av Sjöberg *et al* (2002) beskrivs sex olika uppsättningar av materialparametrar, se tabell 7 och bilaga C. Dessa uppsättningar användes vid en



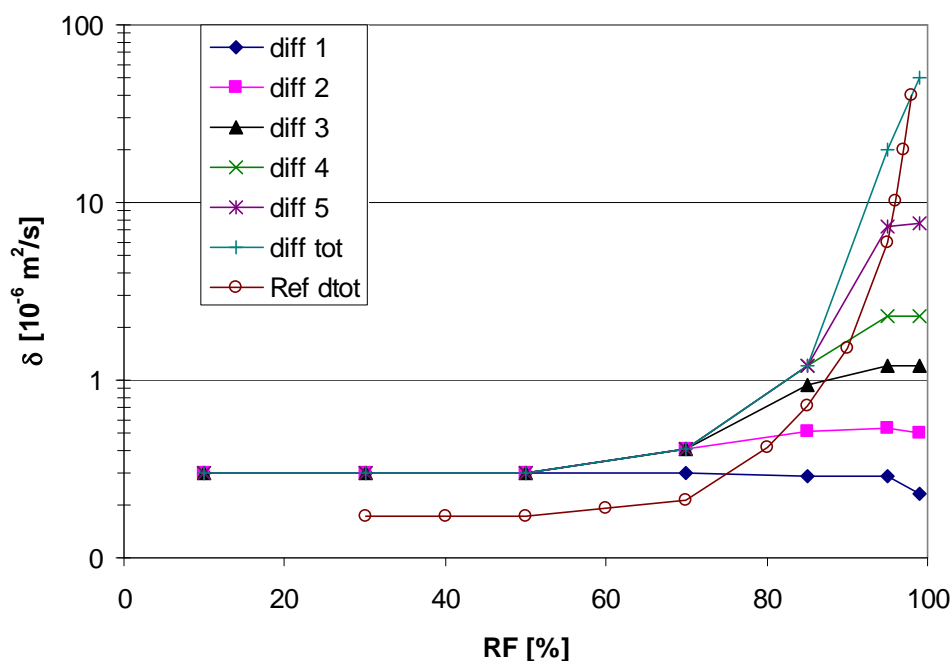
parameterstudie och är att betrakta som sannolika representanter för den verkliga fördelningen av ång- och kapillärtransport

Tabell 7. Diffusionskoefficienten och vätskepermeabilitet vid 95 % RF för studiens sex olika parameteruppsättningar. Se Bilaga C.

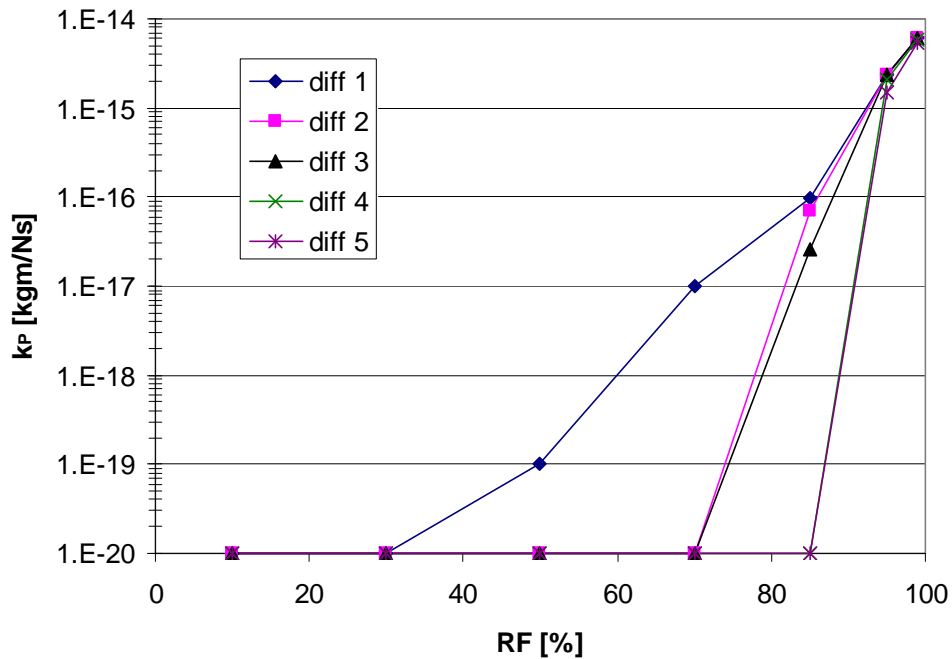
Beräkning		1	2	3	4	5	tot
$\delta$	$\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	0.29	0.52	1.20	2.30	7.40	20.0
$k_p$	$\cdot 10^{-15} \text{ kgm/Ns}$	2.4	2.4	2.3	2.1	1.5	0

Inverkan av temperaturgradient kommer på detta sätt att blir olika stor med de olika parameteruppsättningarna. Samtliga parameteruppsättningar är framtagna så att den totala fukttransporten blir lika stor som med  $\delta_{tot}$ , då beräkningen görs i ett fall utan temperaturgradient.

Både diffusionskoefficienten och vätskepermeabilitet är fuktberoende, det vill säga att de varierar med fuktnivån i betonggolvet. I figur 11 redovisas diffusionskoefficienten som en funktion av RF för samtliga parameteruppsättningar. I figur 12 redovisas vätskepermeabiliteten för de fem parameteruppsättningarna där kapillärsugningen beaktas.



Figur 11. Diffusionskoefficienter ( $\delta$  samt  $\delta_{tot}$ ) för ångtransport som funktion av RF i sex parameteruppsättningar samt för gammal betong (Ref dtot) enligt Hedenblad (1993).



Figur 12. Vätskepermeabilitet  $k_P$  som funktion av RF för fem parameteruppsättningar där kapillärsugningen beaktas.

## 6.4 Datorprogrambeskrivning

För beräkning av fuktförhållanden i golv med golvvärme krävs ett datorverktyg som dels kan användas för beräkningar i två dimensioner, mellan de varma rören, och dels kan beskriva fukttransport på ett nyanserat sätt. Ett sådant beräkningsverktyg är ”*VaDau*”, som använts i detta projekt, liksom i tidigare golvvärmeprojekt.

Datorprogrammet *VaDau* är framtaget av Bengt Hedberg vid Institutionen för byggnadsmaterial vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Programmet bygger på en finita-differensmodell för flöde i två dimensioner. Modellen utnyttjar 20 x 20 beräkningsceller, dvs totalt 400 celler.

*VaDau* innehåller tre olika beräkningsmodeller.

- **DDX** Generella flödesberäkningar med fasta koefficienter för en typ av flöde.
- **DDXCC** Beräkning av hydrations-, temperatur- och hållfasthetsutveckling i betong.
- **DDXRT** Temperatur och fukttransportberäkningar i hygroskopiska material beroende av relativ fuktighet och temperatur samt med fuktberoende transportkoefficienter och sorptionskurvor.

Endast DDXRT modulen har använts i detta projekt.

## 6.4.1 Indatafiler till DDXRT

### DDXRT.DAT

Filen innehåller ingångsdata för körning samt materialdata. Filen är av typen textfil och dess uppbyggnad framgår av följande punkter. Filen editeras med fördel i en vanlig texteditor exempelvis notepad eller WordPad.

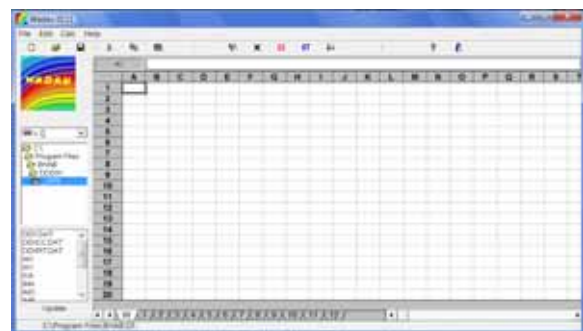
1. Totalt antal material beskrivna i filen.
2. Total beräkningstid i sekunder.
3. ts anger konvergenskriterium som del av max tidssteg och kan varieras mellan 0 och 1.
4. Parametern rtr bestämmer hur många gånger oftare som temperaturen skall beräknas jämfört med fuktberäkningarna.
5. avg anger medeltemperatur vid periodiska förlopp.
6. tamp anger temperaturamplitud.
7. tday anger periodlängd i dagar.
8. Materialnummer, startar med 0.
9. Materialnamn, tre tecken.
10. We beskriver materialets sorptionskurva vid sju RH definierade av rad ett. Rad två beskriver desorption och rad tre absorption.
11. Dv beskriver materialets ånggenomsläpplighet enligt samma princip som under punkt 10.
12. Kp beskriver materialets vätskepermeabilitet enligt samma princip som under punkt 10.
13. Materialets porositet.
14. iax och iay beskriver materialets lamдавärke i x-led respektive y-led.
15. ica anger materialets värmekapacitet.
16. dens anger materialets densitet.

```

ima --- Btid --- ts --- rtr --- avg --- tamp --- tday ---
2      36000 --- 1 --- 10 --- 7.8 --- 5.0 --- 1 ---
M# 0 por% **** iax ***** iay ***** ica ***** dens ***** Betong vct 0.66
070 17 --- 1.7 --- 1.7 --- 950 --- 2250 ---
We ---
30 60 80 88 92 96 98 ---
27 47 74 88 103 120 140 ---
19 26 48 67 83 106 140 ---
Dv ---
10 --- 30 --- 50 --- 70 --- 85 --- 95 --- 99 ---
0.17e-6 0.17e-6 0.169e-6 0.168e-6 0.166e-6 0.162e-6 0.131e-6
0.17e-6 0.17e-6 0.169e-6 0.168e-6 0.166e-6 0.162e-6 0.131e-6
Kp ---
10 --- 30 --- 50 --- 70 --- 85 --- 95 --- 99 ---
0.1e-25 0.1e-25 5.8e-20 3.74e-18 7.51e-17 7.06e-16 4.97e-15
0.1e-25 0.1e-25 5.8e-20 3.74e-18 7.51e-17 7.06e-16 4.97e-15
.....>> fortsättning för angivet antal material <<.....
  
```

De övriga filerna som krävs för att kunna köra beräkningsrutinen är uppbyggda i matrisform och måste editeras med en speciell Windowsbaserad editor DDDW. Editorns principiella utseende framgår av figur 13.

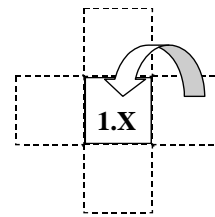
<b>IMA</b>	Matris för materialtyp.
<b>IMR</b>	Matris för cellens arbetsmod gällande fukttransport
<b>IMT</b>	Matris för cellens arbetsmod gällande värmeledning.
<b>ISR</b>	Matris för cellens startpotential för fukt. [% RH ]
<b>IST</b>	Matris för cellens startpotential för temperatur. [°C ]
<b>IXY</b>	Matris för cellens geometri.[m ]



Figur 13. Editorn DDDW

I filerna **IMR** och **IMT** beskrivs cellens arbetsmod med avseende på fukt och värmeledning. Arbetsmoden beskrivs med ett tal som är avdelat med decimalpunkt ex 5.1, 5.12 och 5.34. Innebörden av dessa tal beskrivs nedan. Siffran före decimalpunkten kallas återföringsmod och beskriver från vilken av de närliggande cellerna som cellen skall ta sitt nya värde, se exempel i figur 14.

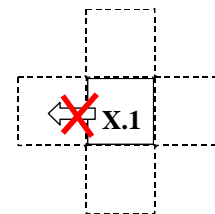
- Mod 0** Cellen behåller sitt ursprungliga värde.
- Mod 1** Cellen hämtar sitt nya värde från cellen till höger.
- Mod 2** Cellen hämtar sitt nya värde från cellen under.
- Mod 3** Cellen hämtar sitt nya värde från cellen till vänster.
- Mod 4** Cellen hämtar sitt nya värde från cellen över.
- Mod 5** Cellen antar det beräknade värdet.
- Mod 7** Cellen följer ett sinusförlopp med värden angivna i DDXRT.DAT filen ( endast tillgänglig i IMT ).
- Mod -1** Cellens värde beräknas som ett jämnviktsvärde mellan grancellerna. Jämnvikten bestäms genom viktning av grancellernas tröghet. Moden är användbar vid ex. luft-spalter då cellens tidsteg är mycket kort.



Figur 14. Exempel på återföringsmod

Siffran efter decimalpunkten kallas körningsmod och används för att hindra flödet från en cell till en annan, se figur 15.

- .1** Inget flöde beräknas åt vänster.
- .2** Inget flöde beräknas uppåt.
- .3** Inget flöde beräknas åt höger.
- .4** Inget flöde beräknas nedåt.



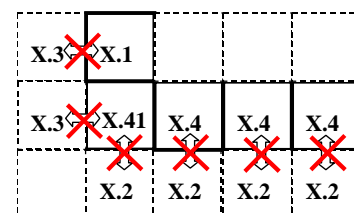
Figur 15. Exempel på körningsmod

Körningsmoder kan kombineras för att skapa begränsningslinjer och hörn

- .12** Inget flöde åt vänster och uppåt.
- .23** Inget flöde uppåt och åt höger.
- .34** Inget flöde åt höger och nedåt.
- .41** Inget flöde nedåt och åt vänster.

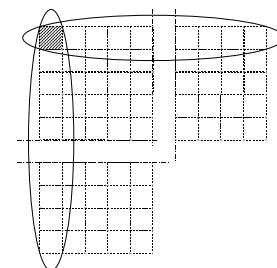
Vid begränsningar av flödet mellan celler är det viktigt att beakta att om begränsningen enbart är införd i den ena av de två gränsande cellerna så är flödet endast stoppat i en riktning se figur 16.

När körningsmoder kombineras för att skapa hörn är det av största vikt att moderna kombineras rätt dvs. medurs .12, ... .41 enligt Figur 16..



Figur 16. Exempel på körningsmoder kombinerade till ett hörn

Filen IXY bör även nämnas då den är lite speciell på det sättet att filen endast innehåller värden i den vänstra kolonnen och i den översta raden. I den vänstra kolonnen anges cellernas höjd och i den övre raden cellernas bredd. I och med att den översta vänstra cellen är gemensam för den aktuella raden och kolonnen anger den med ett värde både höjd och bredd för berörda celler se figur 17.



Figur 17. Indatafilen IXY

## 6.4.2 Utdatafiler från DDXRT

Beräkningsresultaten erhålls som 12 filer av typerna OR och OU, linjärt fördelade under beräkningstiden.

OR1...12 som beskriver cellernas fuktillstånd i % RH.

OU1...12 som beskriver cellernas temperatur i °C

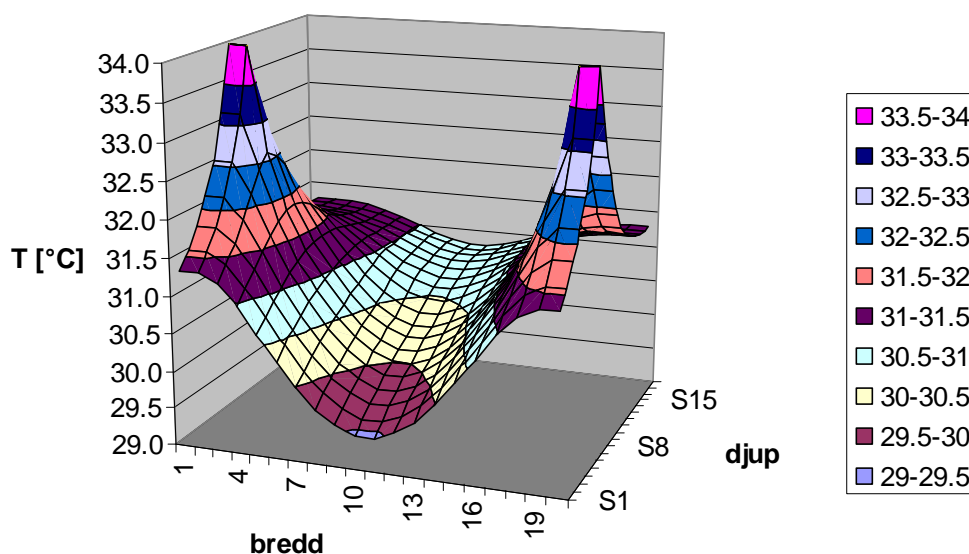
## 6.4.3 Exempel på beräknade 2D-fördelningar

2D-beräkningar för de fall som mätningar gjorts på har genomförts med VaDau. Plattor med tjockleken 120 mm och två värmerör på ett c/c-avstånd av 300 mm har simulerats.

Symmetrilinjer har antagits i vertikala snitt centriska genom rören. Fullständig värme- och fuktisolering har antagits vid dessa symmetrilinjer samt i botten av plattorna. Rören har beskrivits som "rutor" med en storlek av 20 x 20 mm.

Först har en uttorkning simulerats och den 2D RF-fördelning som då erhållits efter aktuell uttorkningstid har sedan utgjort startfördelning för beräkning av omfördelning av den instängda fukten. Temperaturfördelningen har varit densamma under båda perioderna och bestämts av att temperaturen hållits konstant i de två värmerören och i luften ovanför överytan.

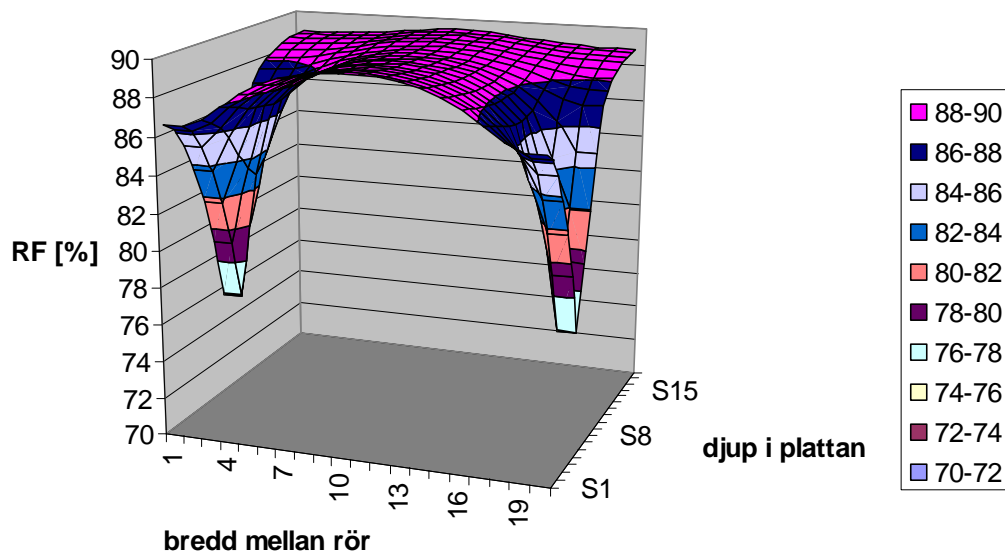
Ett exempel på beräkningsresultat ges i figur 18 i form av temperaturfördelning mellan två värmerör.



Figur 18. Exempel på beräknad temperaturfördelning i betongplattan, sedd "uppifrån", med toppar vid de två varma rören och den lägsta temperaturen vid överytan, mitt emellan rören.

Betongens goda värmeledningsförmåga ger upphov till ett stort värmefflöde från de båda rören, tvådimensionellt genom betongplattans alla delar och upp mot överytan. De två lokala värmekällorna, värmerören, är så lokala att temperaturgradienterna blir störst närmast rören, se figur 18. Temperaturen på betongytan blir naturligtvis högst mitt över rören och ett par-tre grader lägre mitt mellan rören.

Ett exempel på beräknad RF-fördelning under omfördelningen visas i figur 19.



Figur 19. Exempel på beräknad RF-fördelning i betongplattan, sedd ”uppifrån”, efter viss omfördelning, med låga RF vid de två varma rören och högst RF vid överytan och underytan, mitt emellan rören.

Figur 19 visar RF-fördelningen beräknad med fukttransportantagandet ”diff4”. Som synes ger detta relativt stor skillnad i RF intill värmerören och mitt mellan rören.

## 6.5 Utvärdering mot uppmätta värden, Etapp II

Beräkningar har först gjorts för de experiment som genomförts i denna etapp (II), med tät golvbeläggning som applicerats efter den aktuella torktiden. Omfördelningen har då skett utan att någon nämnvärd mängd fukt lämnat betongplattan.

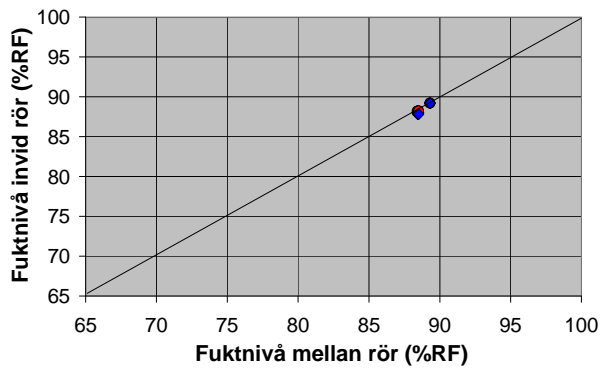
Omfördelningen har beräknats utan hänsyn till betongens scanningkurvor, vilket innebär en viss approximation av absolutvärdena. Effekten på RF-skillnader borde vara någorlunda korrekt ändå, men i mätningarna har det naturligtvis skett en uppfuktning av de översta delarna av betongplattan. De mätpunkter som används för utvärderingen har dock inte valts där i första hand.

I följande avsnitt analyseras beräkningsresultaten genom att först jämföra beräknad RF i olika punkter för de olika fukttransportantagandena och därefter jämföra resultaten av den beräkning som gett ”bäst” resultat med mätvärden. Värdena i vertikalsnitt på ett avstånd av 5 mm respektive 40 mm från kanten på det varma röret har använts för jämförelsen med värdena mitt emellan rören. Omfördelning under tre respektive sex månader efter mattläggning har utnyttjats för de två rördjupen.

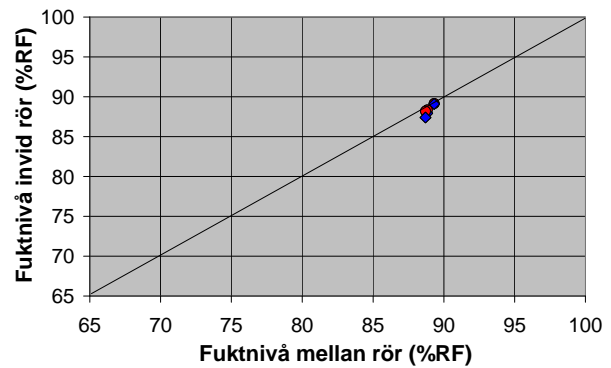
### 6.5.1 Värmerör på djupet 30 mm

I nedanstående diagram redovisas beräkningsresultaten från beräkningar med de olika antagandena för fuktransport enligt figur 11 och 12. Resultaten redovisas bara som beräknad RF intill värmerör mot beräknad RF mitt mellan rören.

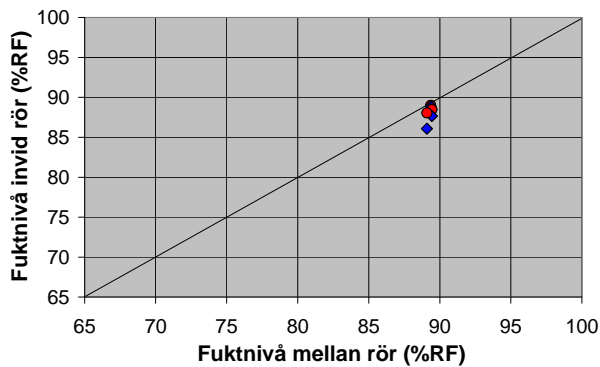
Först redovisas resultaten för de individuella fallen och därefter alla resultat i ett diagram. Slutligen jämförs uppmätta värden med resultaten från de beräkningsantaganden som stämmer bäst med mätningarna.



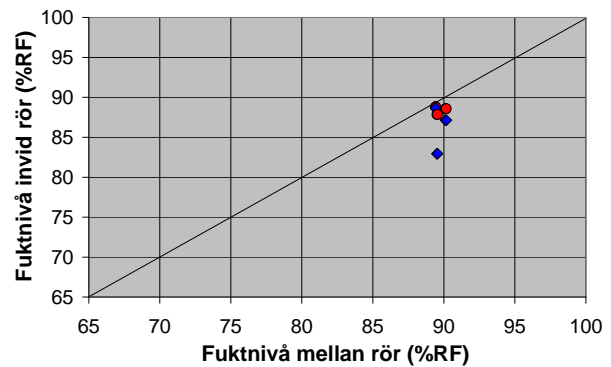
Figur a. Diff 1



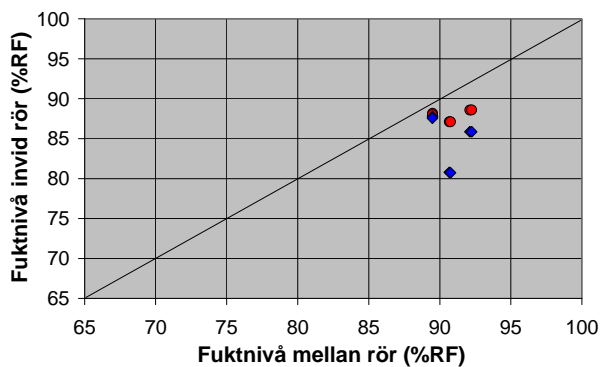
Figur b. Diff 2



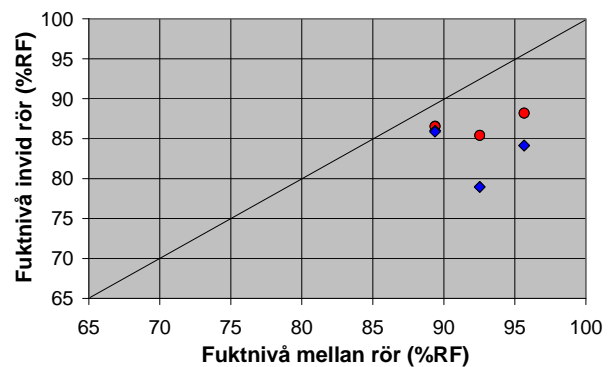
Figur c. Diff 3



Figur d. Diff 4

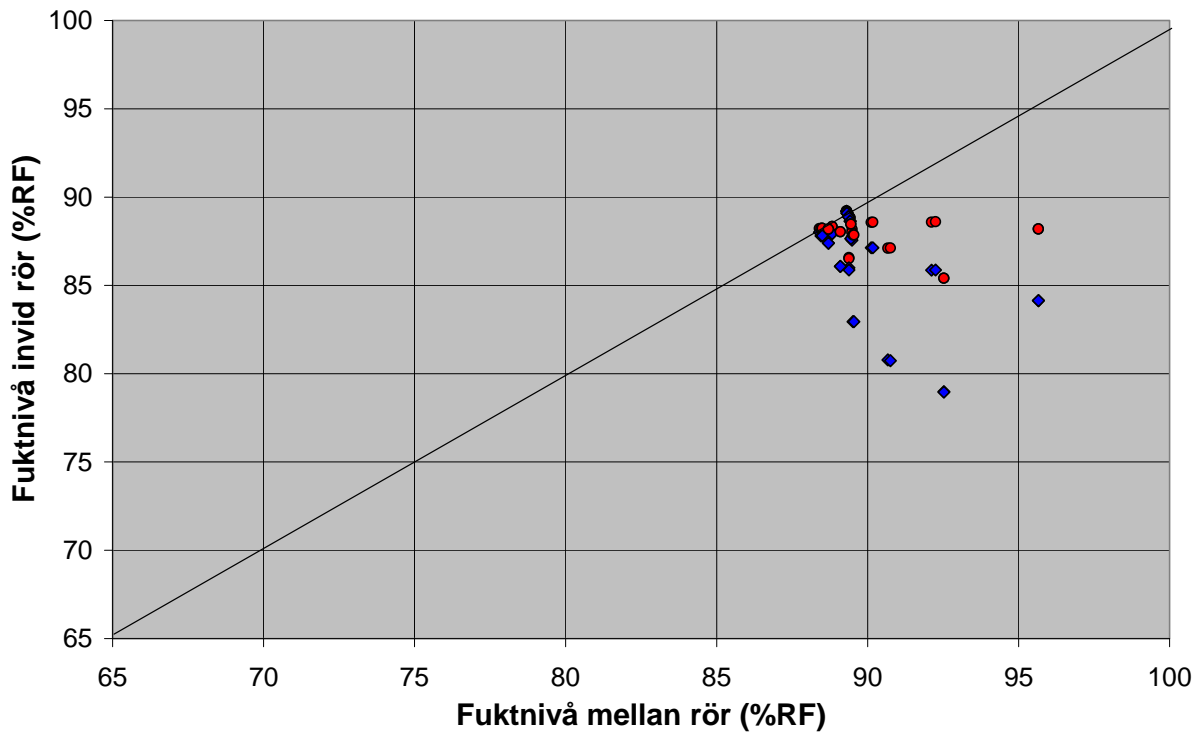


Figur e. Diff 5

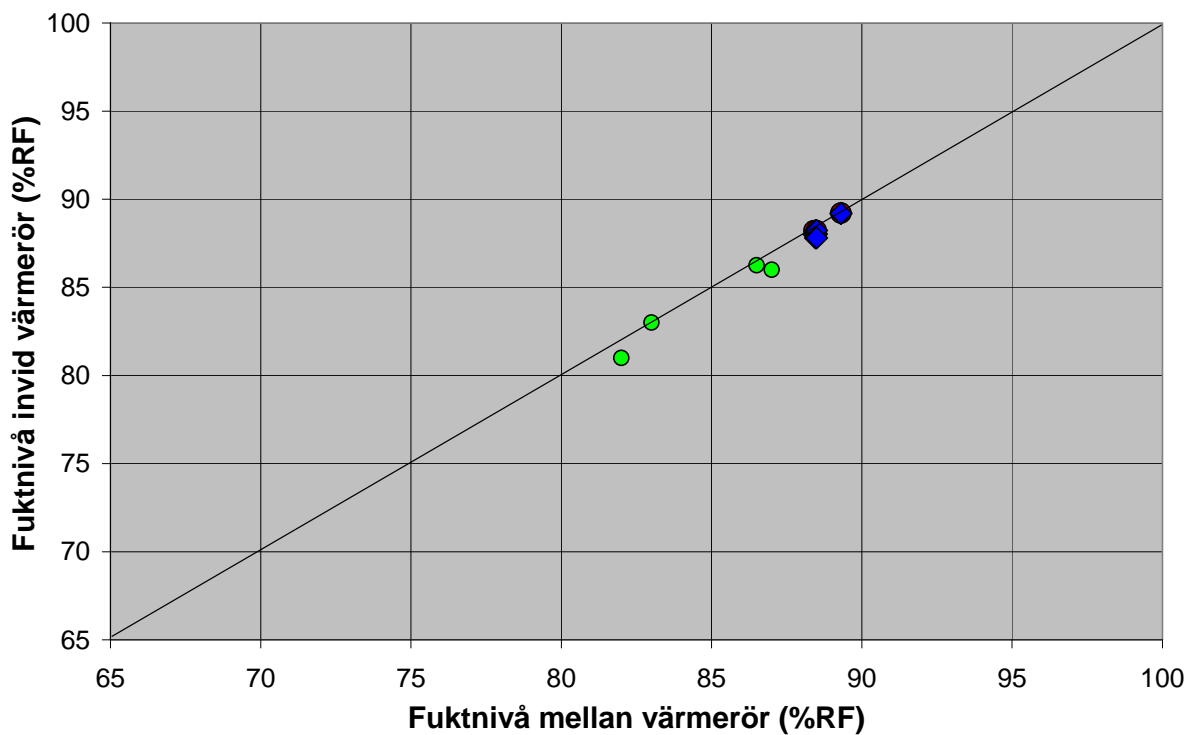


Figur f. Diff dtot

Figur 20. Beräknade värden för respektive antagande. Värmerör på djupet 30 mm.



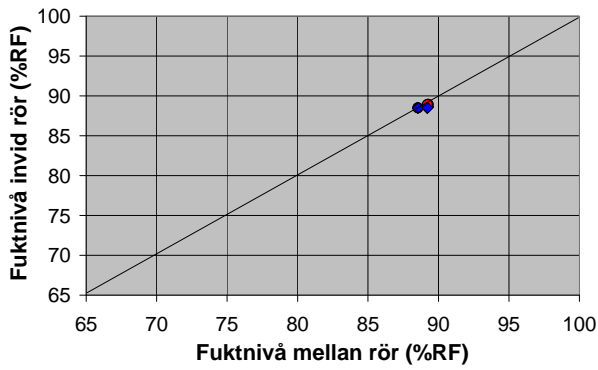
Figur 21. Beräknade värden för alla antaganden. Värmerör på djupet 30 mm



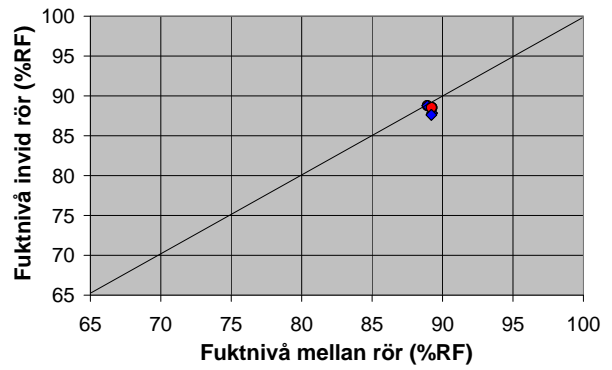
Figur 22 Uppmätta värden (små symboler) med slingor på 30 mm jämförda med beräkningsresultat med antagandet diff 1 (stora symboler). Värden visas för botten, 30 mm djup samt toppen.



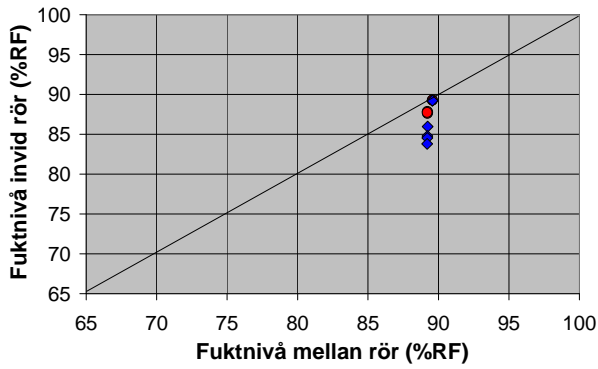
## 6.5.2 Värmerör på djupet 100 mm



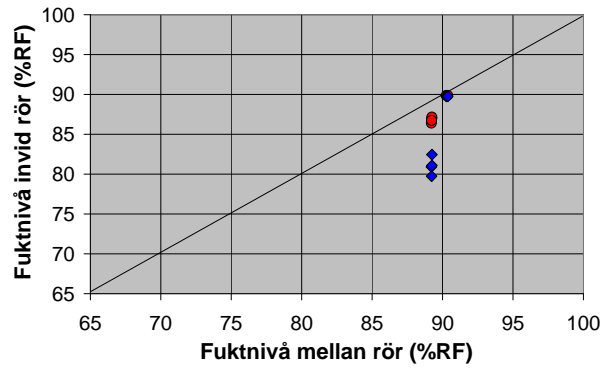
Figur a. Diff 1



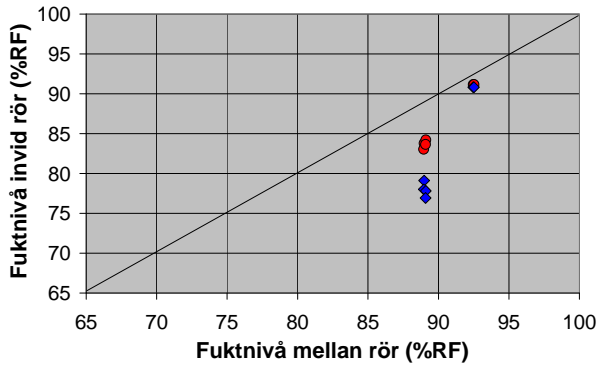
Figur b. Diff 2



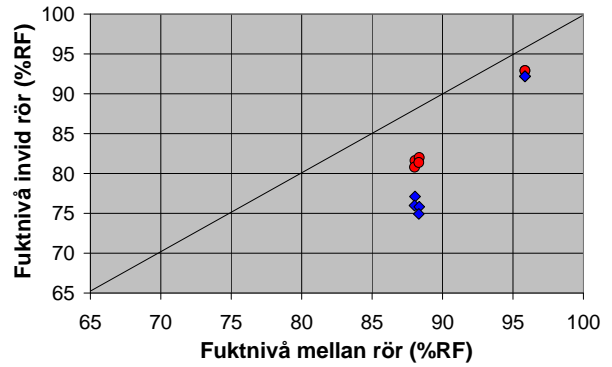
Figur c. Diff 3



Figur d. Diff 4

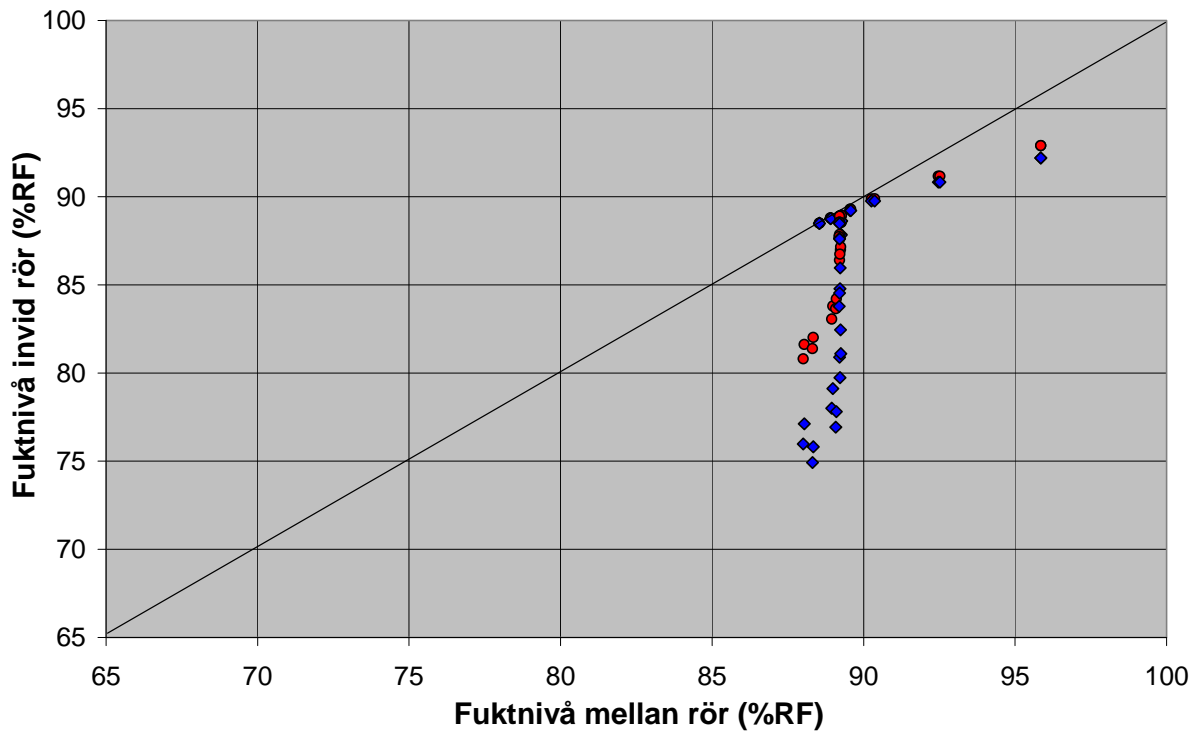


Figur e. Diff 5

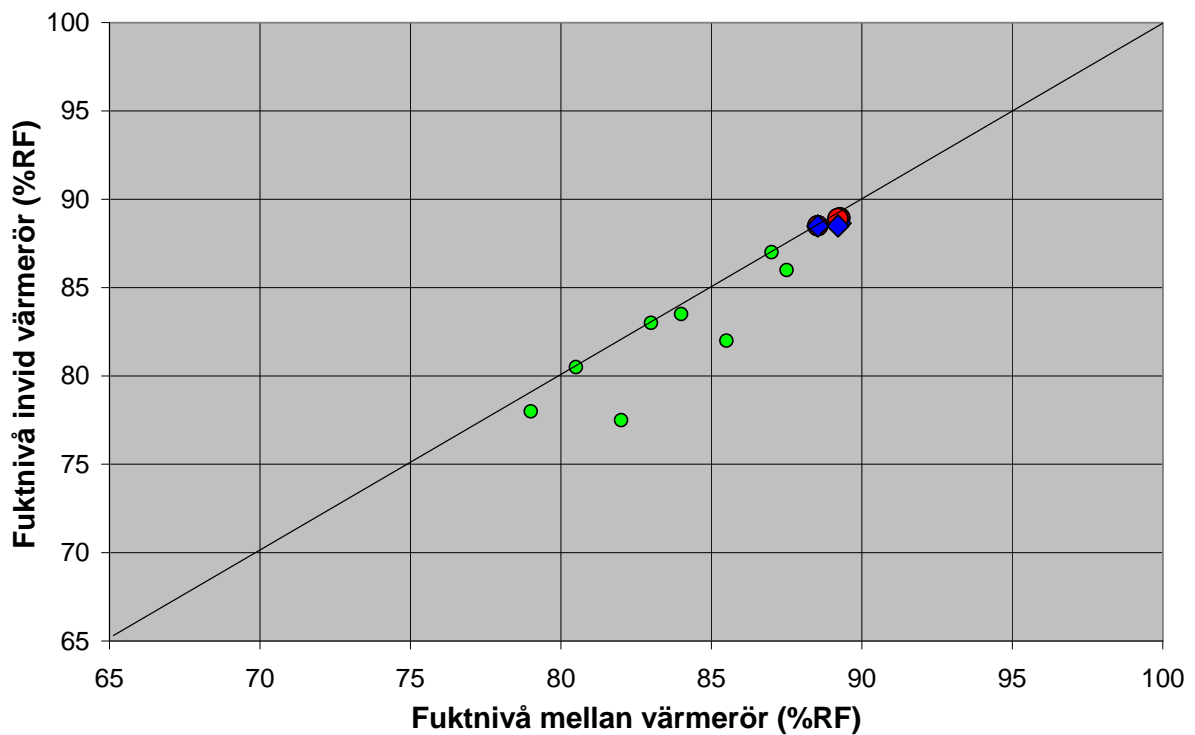


Figur f. Diff dtot

Figur 23 Beräknade värden för respektive antagande. Värmerör på djupet 100 mm



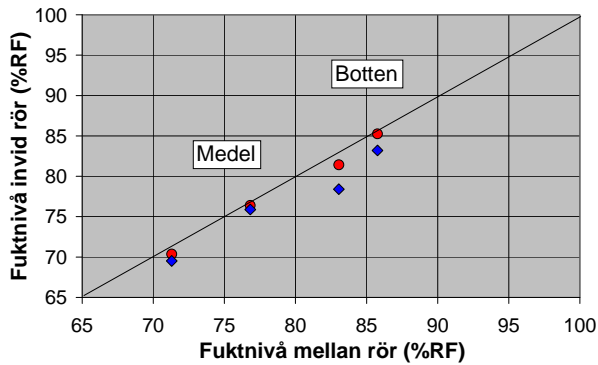
Figur 24 Beräknade värden för alla antaganden. Värmerör på djupet 100 mm



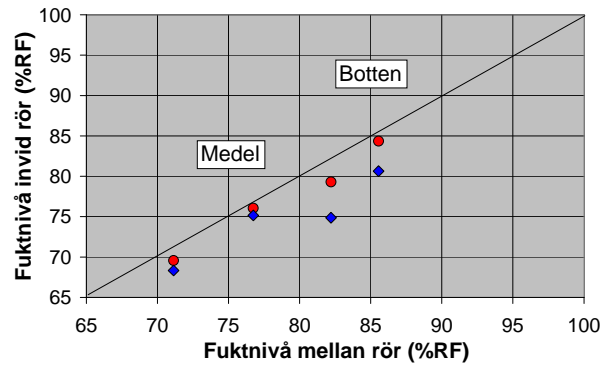
Figur 25 Uppmätta värden (stora symboler) med slingor på 100 mm jämförda med beräkningsresultat med antagandet diff 1 (små symboler). Värden visas för botten, 30 mm djup samt toppen.

## 6.6 Utvärdering mot uppmätta värden Etapp III

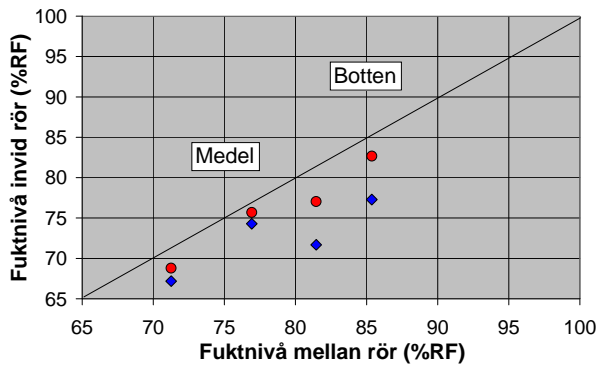
Samma typ av utvärdering har gjorts för resultaten från projektetapp III, Sjöberg & Nilsson (2007), med limmade trägolvsom golvbeläggning. Skillnaden är egentligen bara att fukt transporteras upp genom trägolvet under omfördelningen varför betongens överyta inte uppfuktats lika mycket som när en tät beläggning användes i etapp II. Värmerören i dessa fall finns bara på ett djup, 100 mm ner i plattorna.



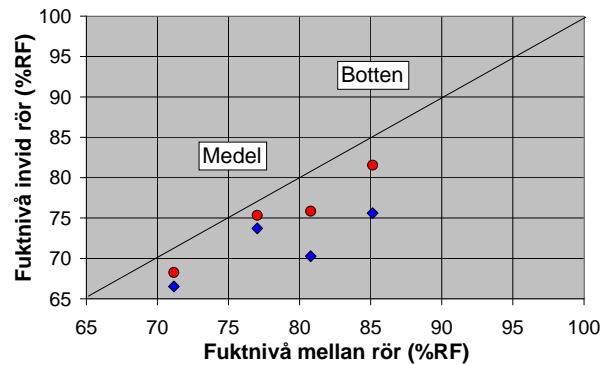
Figur a. Diff 1



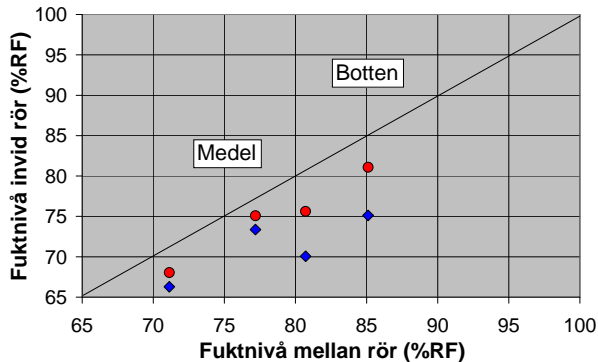
Figur b. Diff 2



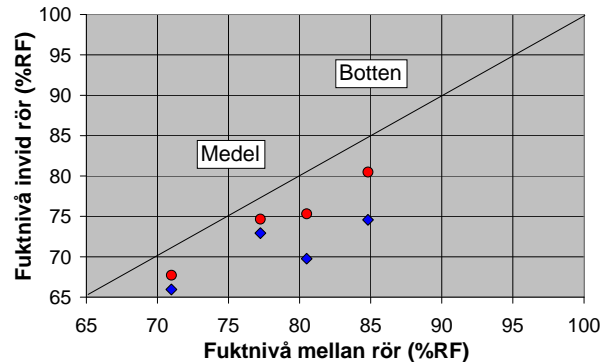
Figur c. Diff 3



Figur d. Diff 4

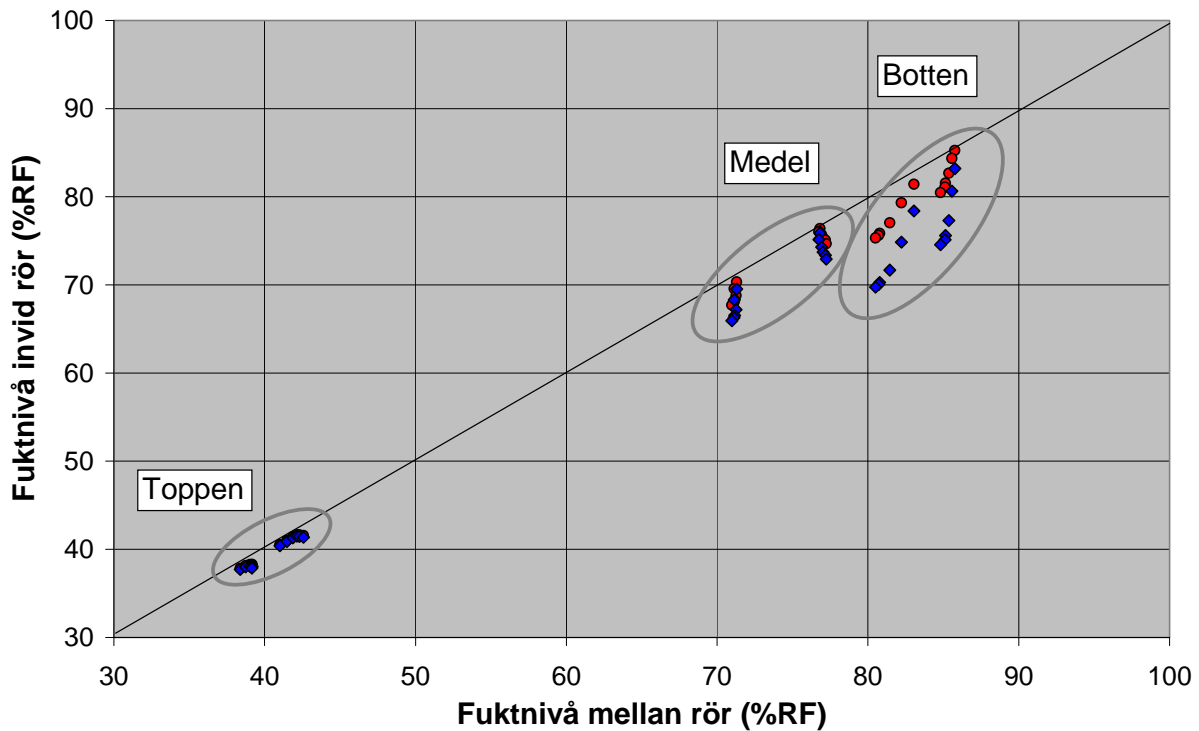


Figur e. Diff 5

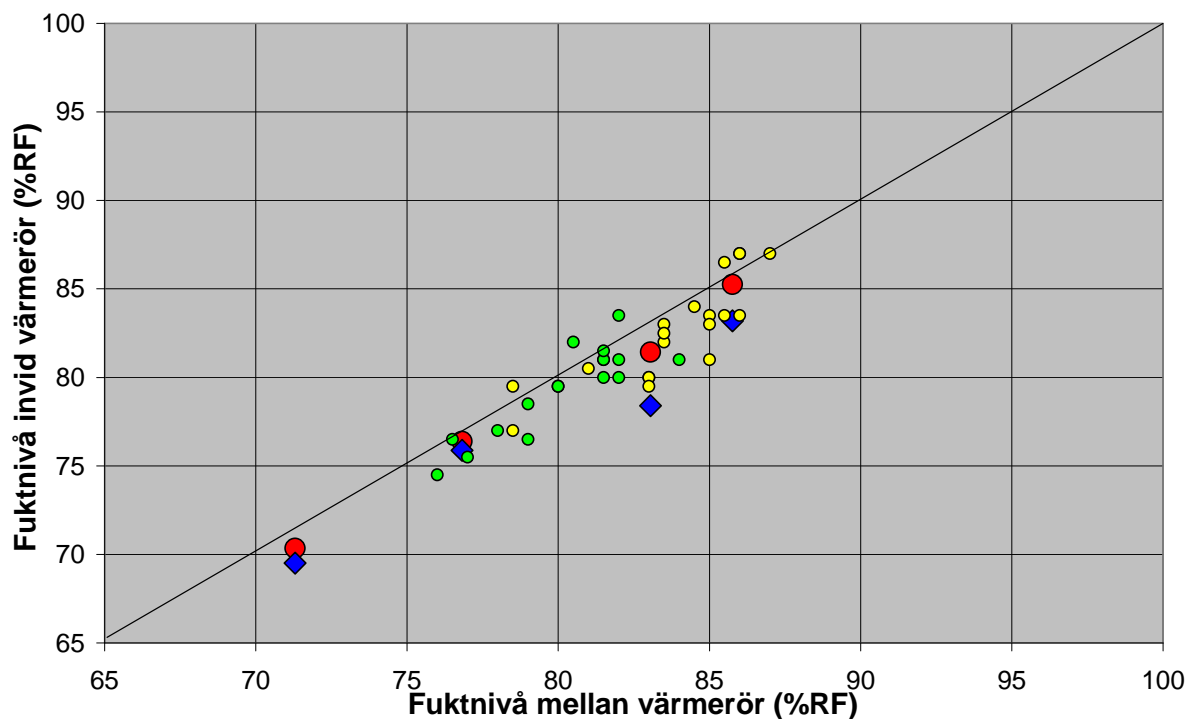


Figur f. Diff TOT

Figur 26 Beräknade värden för respektive antagande. Värmerör på djupet 100 mm. Träggolv



Figur 27 Beräknade värden för alla antaganden. Värmerör på djupet 100 mm. Träggolv. Runda (röda) ringar för 3 månader. Kvadrater (blå) för 6 månader.



Figur 28. Uppmätta värden (stora symboler) med slingor på 100 mm och träggolv jämförda med beräkningsresultat med antagandet diff 1 (små symboler, ljusa (gula) vct 0.6, mörka (gröna) vct 0.4). Värden visas för botten, 30 mm djup samt toppen.

## **6.7 Slutsatser av utvärderingarna mot uppmätta värden**

Av utvärderingarna i 6.5 och 6.6 framgår det tydligt att det fukttransportantagande som ger beräkningsresultat som stämmer bäst överens med mätvärdena är det som benämns "diff1". Detta är det av de sex alternativen som ger den andra termen i flödesekvationen 2 och 3 störst inverkan, dvs använder högst  $\delta_p$  i ekvation 3. Detta innebär att fukttransporten utjämnar porvattentryck, och RF, mer än ånghalter då fukttransporten äger rum under en temperaturgradient.

Den andra termen i dessa flödesekvationer sägs traditionellt beskriva vätsketransport eller kapillärugning. Detta behöver inte nödvändigtvis vara riktigt utan slutsatsen kan också bero på att RF är en mer dominerande fukttransportpotential än ånghalten vid en temperaturgradient. För betong skulle detta kunna ha att göra med transport av adsorberat vatten i cementgelen.

Mätningarna och beräkningar är inte så exakta att man kan hävda att fukttransportantagandet "diff1" är helt korrekt för betong. Av de sex som prövats här är det dock det bästa. Av den anledningen är det detta som bör användas i fortsättningen, tillsvidare. För beräkning av lämpliga mätdjup i betonggolv med golvvärme, i nästa kapitel, är det det som utnyttjats.

## 7. Beräkning av ekvivalent mätdjup

Med slutsatsen från kapitel 6, om vilket fukttransportantagande som bäst beskriver fukttransport under temperaturgradient, har beräkningar nu gjorts av vilket mätdjup som är lämpligt att använda i olika typer av betonggolvvärme. Fuktfordelningen efter uttorkning har först beräknats. Därefter har applicering av en helt tät beläggning simulerats och omfordelningen av kvarvarande fukt beräknats.

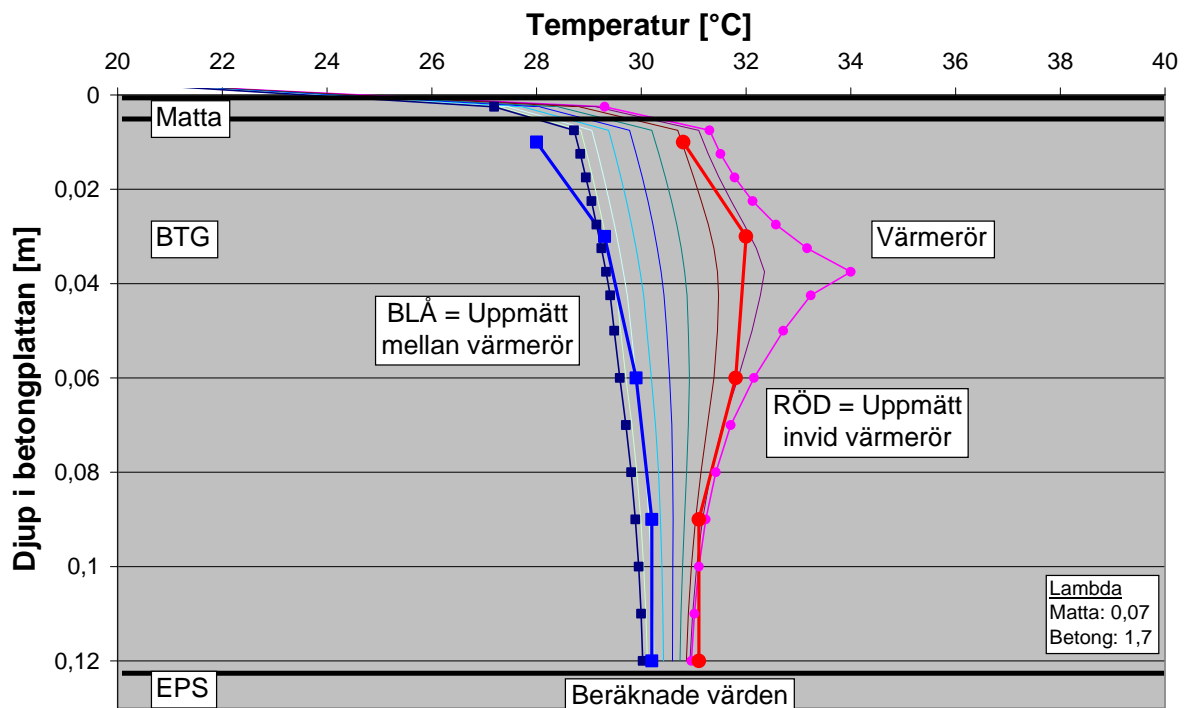
Först visas några beräkningsexempel nedan. En jämförelse görs slutligen av på vilket djup, efter uttorkningen, RF är densamma som den maximala RF man får under beläggningen efter omfordelning.

### 7.1 Temperaturberäkningar

Beräkningar av 2D temperaturfordelningar har genomförts och resultaten har sedan jämförts med uppmätta temperaturfordelningar. De beräkningsförutsättningar som gav temperaturfordelningar som stämmer bra med mätvärden har valts för uttorknings- och omfordelningsberäkningar.

#### 7.1.1 Rör på 30 mm

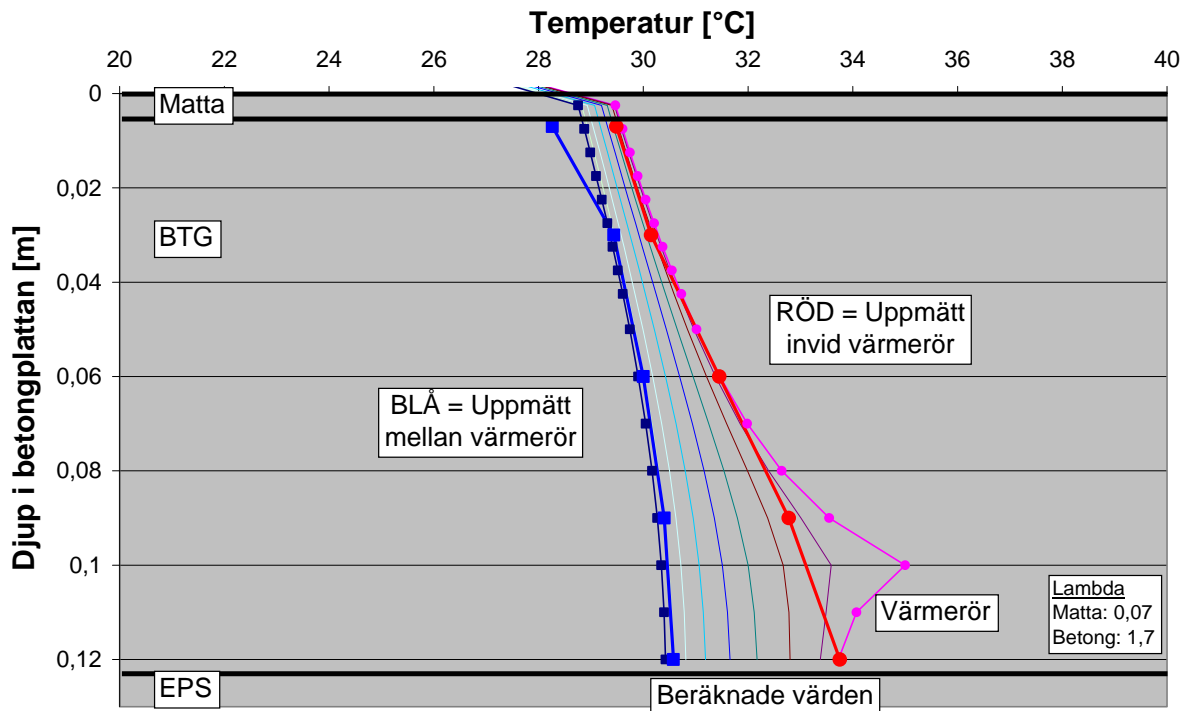
Beräkningsresultaten jämförda med uppmätta temperaturprofiler visas i figur 29 för fallet med värmerören på djupet 30 mm.



Figur 29. Uppmätta värden (stora symboler, grova linjer) med slingor på 30 mm jämförda med beräkningsresultat (små symboler, tunna linjer)

## 7.1.2 Rör på 100 mm

Beräkningsresultaten jämförda med uppmätta temperaturprofiler visas i figur 30 för fallet med värmerören på djupet 100 mm.



Figur 30 Uppmätta värden (stora symboler, grova linjer) med slingor på 100 mm jämförda med beräkningsresultat (små symboler, tunna linjer)

## 7.2 Fuktberäkningar

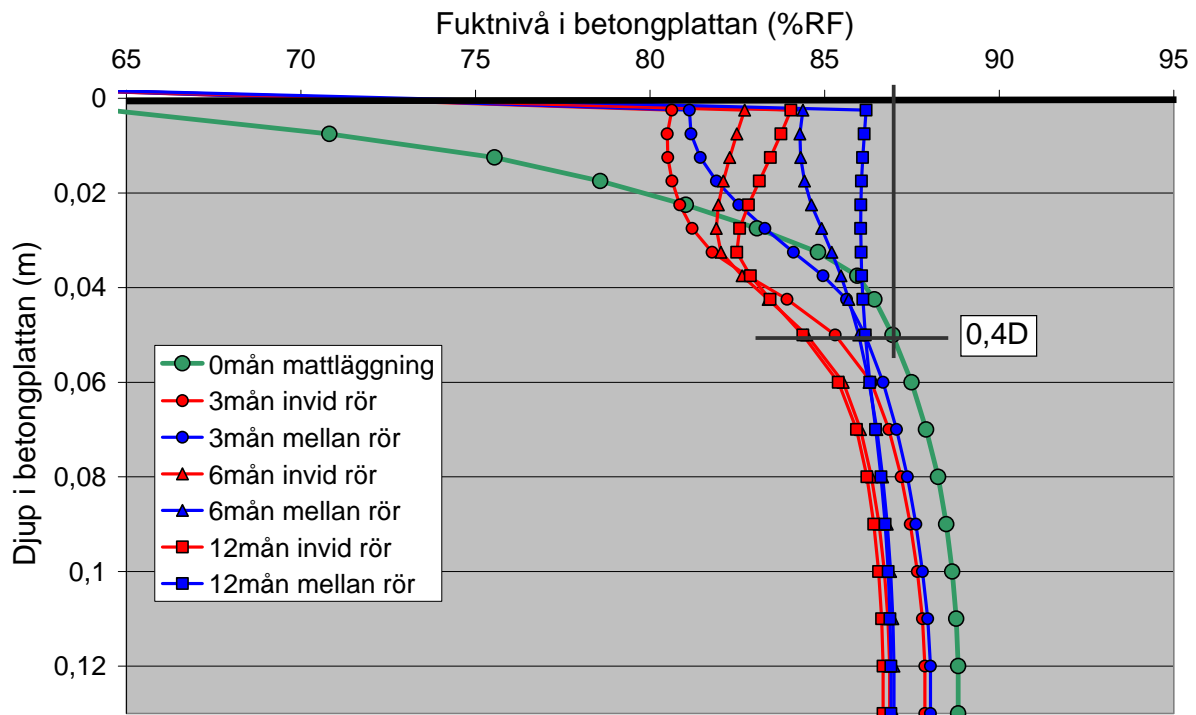
Med två-dimensionella temperaturfördelningar mellan värmerören enligt 7.1 har sedan de två-dimensionella fuktfördelningarna beräknats. Fukttransportantagandet "diff1", som enligt kapitel 6 visade sig vara det bästa, har då använts för att beskriva fukttransport under de temperaturgradienter som uppkommer mellan värmerören, se figur 29 och 30.

Beräkningar har gjorts för betong med vct 0.60 med materialegenskaper enligt Hedenblad (1993), omräknade enligt kapitel 6 till alternativet "diff1". Självtorkning till 93 % RF har först antagits och därefter har fuktfördelningarna efter uttorkning till olika nivåer beräknats, under förutsättning att golvvärmen ännu inte varit inkopplad.

Omfördelningen efter applicering av en tät golvbeläggning har därefter beräknats med golvvärmen inkopplad så att den ger de temperaturfördelningar som visas i figur 29 respektive 30. RF-fördelningarna efter olika långa omfördelningstider har då utvärderats. Exempel från dessa beräkningar visas nedan som RF-profiler i olika vertikalsnitt med olika avstånd från värmerören.

## 7.2.1 Rör på 30 mm

Beräkningsresultaten visas i figur 31 för fallet med värmerören på djupet 30 mm.



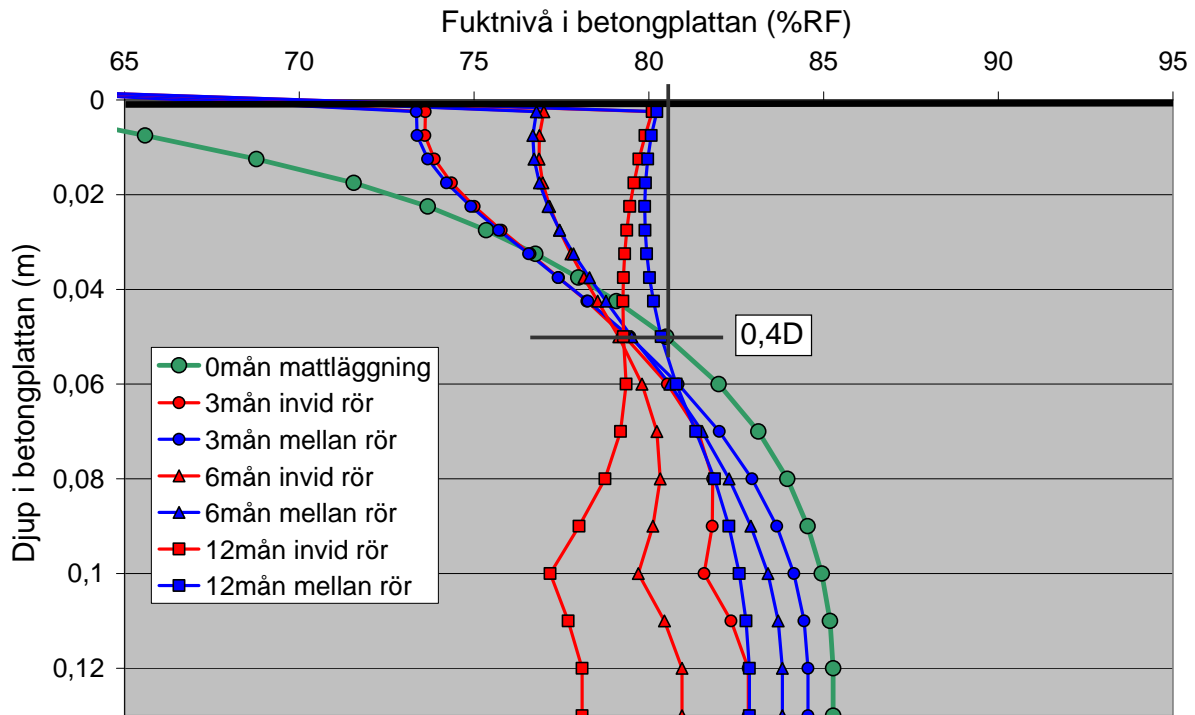
Figur 31. Beräknade RF-profiler, precis invid röret (röda) samt mitt mellan rören (blå), vid omfördelning under olika lång tid efter matläggning, efter 6 månaders uttorkning. Värmerören på djupet 30 mm, inkopplade efter matläggning.

Efter i det närmaste fullständig omfördelning under den mer eller mindre helt täta golvbeläggningen nås en RF under beläggningen som motsvarar den man hade på djupet  $0.30-0.35D$  där  $D$  är plattjockleken. Fukttransportantagandet "diff1" ger vid ett fuktflöde lika med noll, en RF-fördelning som är nästan konstant. RF är bara någon % lägre vid det varma röret, hör på djupet 30 mm. Ett mätdjup på  $0.4D$  skulle ge ett värde som är mindre än 1 % RF på säkra sidan.

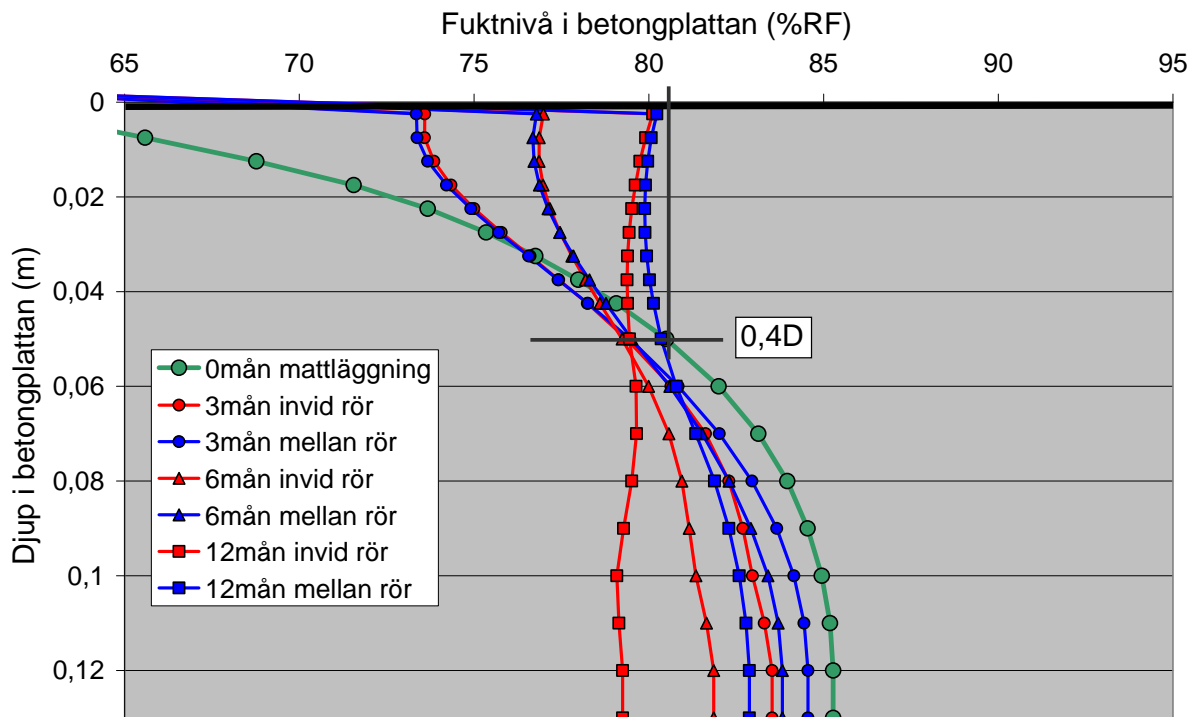


## 7.2.2 Rör på 100 mm

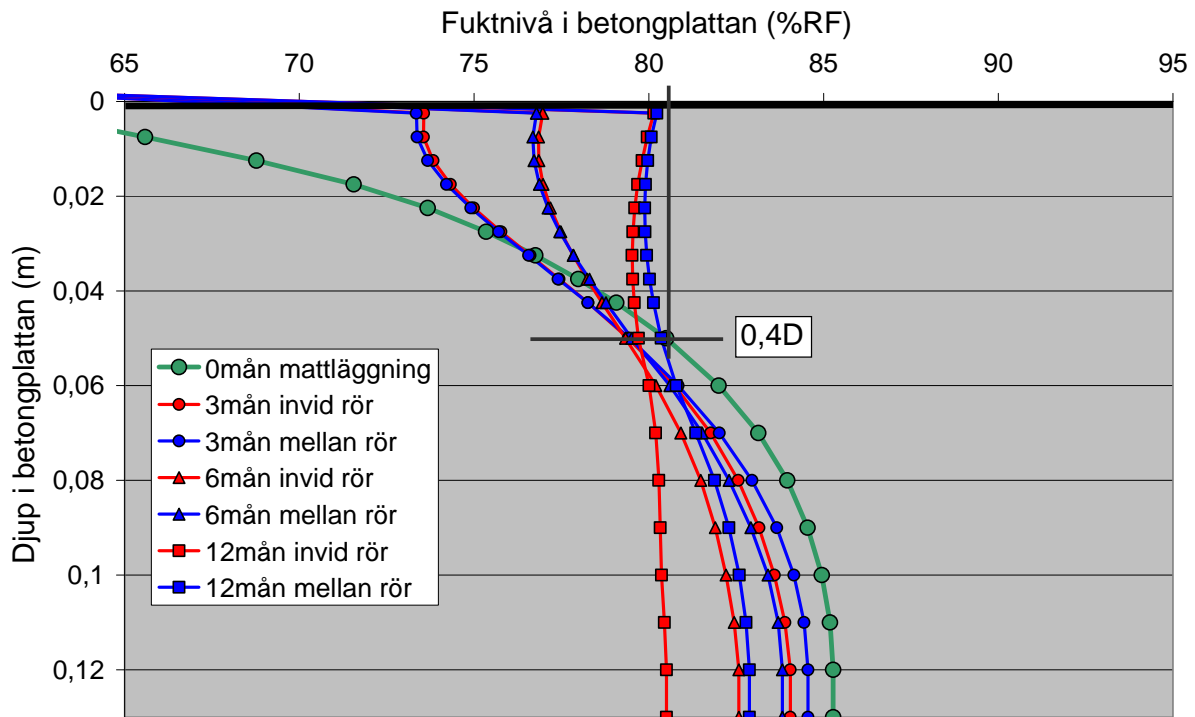
Beräkningsresultaten visas i figur 32a-c för fallet med värmerören på djupet 100 mm.



Figur 32a. Beräknade RF-profiler, precis invid röret (röda), 5 mm ifrån, samt mitt mellan rören (blå), vid omfördelning under olika lång tid efter mattnläggning, efter 6 månaders uttorkning. Värmerören på djupet 100 mm, inkopplade efter mattnläggning.



Figur 32b. Beräknade RF-profiler, invid röret (röda), 17,5 mm ifrån, samt mitt mellan rören (blå), vid omfördelning under olika lång tid efter mattnläggning, efter 6 månaders uttorkning. Värmerören på djupet 100 mm, inkopplade efter mattnläggning.



Figur 32c. Beräknade RF-profiler, precis invid röret (röda), 32.5mm ifrån, samt mitt mellan rören (blå), vid omfördelning under olika lång tid efter matläggning, efter 6 månaders uttorkning. Värmerören på djupet 100 mm, inkopplade efter matläggning.

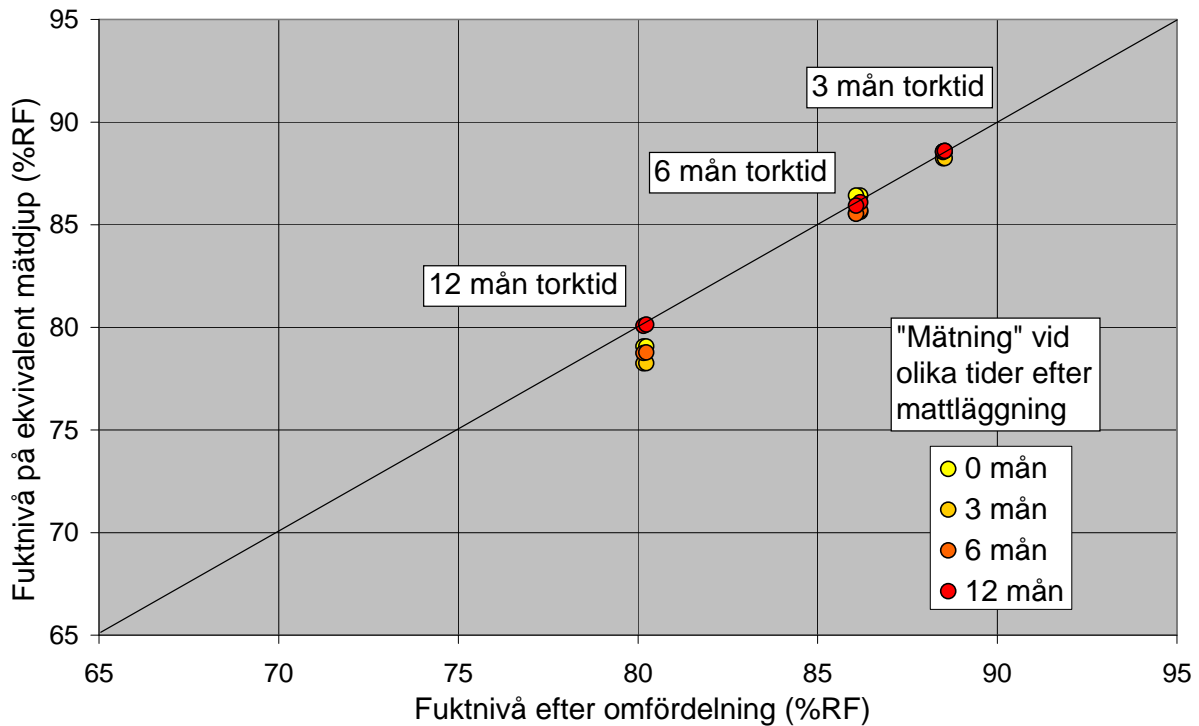
Figureerna 32a-c visar beräkningsresultaten på tre olika sätt där skillnaden är hur nära intill värmerören man kan anse att man kan redovisa RF. Skillnaden mellan diagrammen är några % RF på nivån där värmerören ligger. Under golvbeläggningen är det så gott som ingen skillnad alls.

Fuktransportantagandet "diff1" ger här samma RF på alla djup, inom ca 1 % RF, utom i vertikalsnittet alldeles genom värmeröret, se figur 32a. I det snittet är RF-skillnaden något över 3 % RF mellan betongytan och alldeles invid värmeröret. Den beräknade temperaturskillnaden var här något över 5°C, se figur 30.

Med värmerören på ett djup av 100 mm blir RF under golvbeläggningen efter omfördelningen nästan precis lika stor som på ett djup av 0.40D. Skillnaden är mindre än 0.5 % RF.

### 7.3 Sammanställning med olika tork- och omfördelningstider

I figur 33 ges en sammanställning av fuktnivån på mätdjupet 0.4D, efter olika lång omfördelning, mot den fuktnivå som maximalt uppkommer under mattan, efter tre olika torktider. När omfördelningen gått långt har RF-profilen vänt och RF på mätdjupet, mitt mellan rören, har sjunkit mer och mer, se figur 31 och 32a-c.



Figur 33. Sammanställning av fuktnivån på mätdjupet 0.4D, efter olika lång omfördelning, mot den fuktnivå som maximalt uppkommer under mattan, efter tre olika torktider

Beräkningarna med olika lång torktid innan matläggning, 3, 6, 12 mån, ger naturligtvis stor skillnad i fuktnivåer hos de olika grupperna med värden. Olika lång tid för omfördelningen ger större skillnad i RF på mätdjupet 0.4D ju längre torktiden varit, dvs. ju torrare det är.

Golvvärmrör på 30 och 100 mm visar ingen märkbar skillnad i fuktnivåer i någon av beräkningarna.

## **7.4 Slutsats: Mätdjup 0.4D**

Av beräkningarna, med det alternativ för fuktransportantagande som bäst stämmer med mätningarna, kan man dra slutsatsen att RF-mätning bör göras mitt emellan värmerören och på djupet  $0.4D$ , där  $D$  är plattjockleken.  $0.30-0.35D$  skulle kunna användas i vissa fall men om ett mätdjup skall anges, för olika placering av värmerören, visade det sig att  $0.4D$  är ett mätdjup som ger värden som ligger inom 1 % RF på säkra sidan.

Hänsyn till scanningkurvor, enligt Åhs (2007), har inte tagits i beräkningarna. Den självuttorkning som upptäckts i mätningarna, men inte kunnat förklaras, har heller inte beaktats. Dessa båda effekter skulle ha motsatt inverkan på mätdjupet och möjligen ”ta ut” varandra ganska precis. Tillsvidare har därför valts att inte föreslå något annat mätdjup.

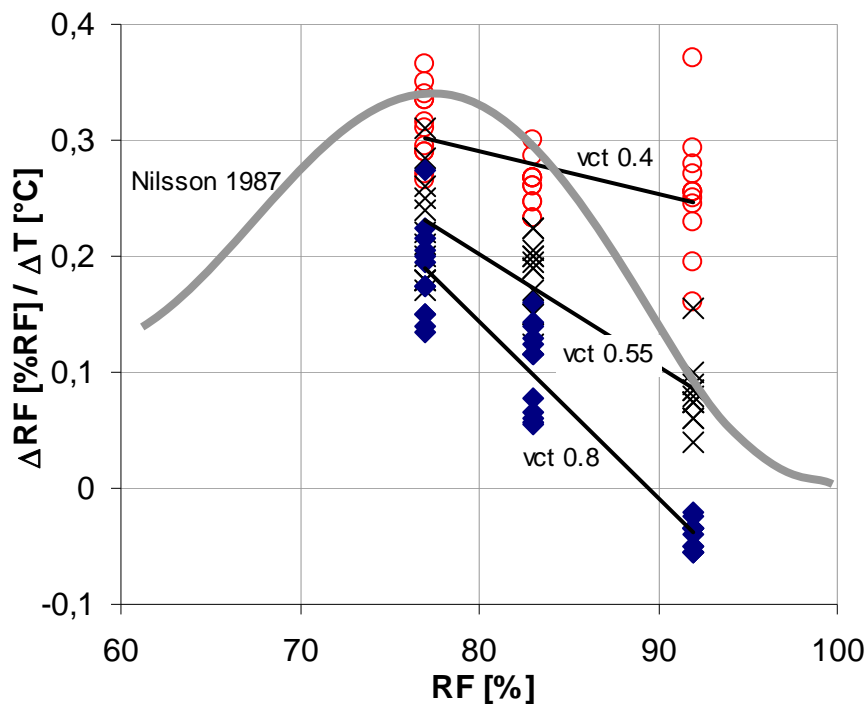
Ett projekt pågår redan på avd. Byggnadsmaterial vid LTH där självuttorkningseffekten förhoppningsvis skall kunna förklaras. Om så blir fallet kan en effekt bli att mätdjupet skulle kunna minskas, vilket skulle innebära att de torktider som krävs kan kortas. Vilken av de båda effekterna som då överväger, kommer att avgöra om rekommenderat mätdjup skall ökas eller minskas och i vilka fall detta kan vara möjligt.

## 8. Temperaturkorrigering av RF vid höga mättemperaturer.

Det är sedan tidigare känt att RF-nivån i betong varierar något med temperaturen. I motsats till fukt i luft så ökar RF i betong då temperaturen ökar, Nilsson (1987).

Temperatureffekten i betong uppkommer enkelt uttryckt genom att fysikaliskt bundet vatten på väggarna i betongens porsystem förångas till luften i porsystemet när temperaturen höjs och vice versa när den sänks.

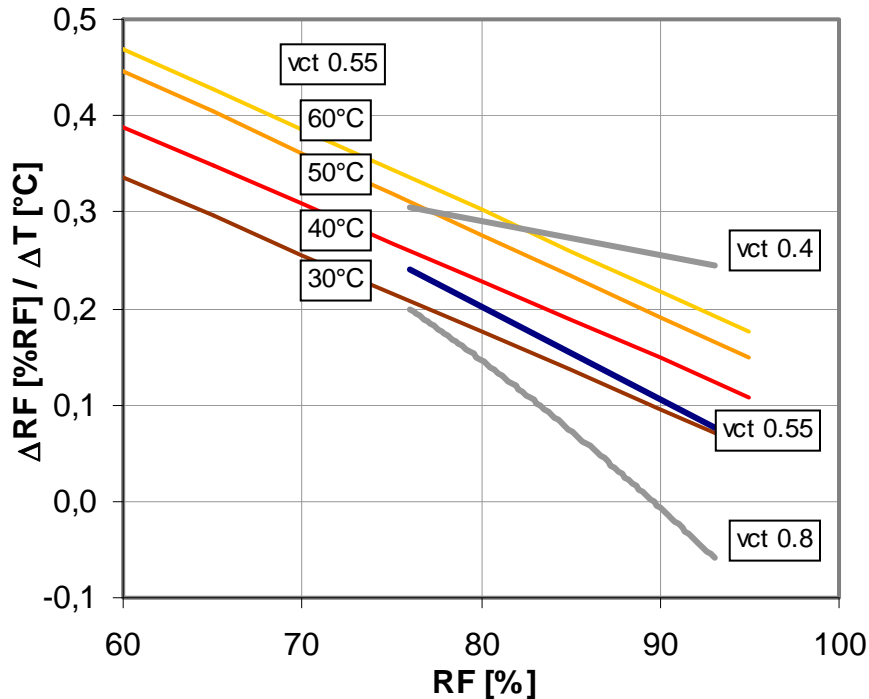
I förstudien till detta projekt, Sjöberg et al (2002), visades att temperaturkorrigeringen är beroende av betongens vct, vilket inte uppmärksammats då effekten tidigare undersökts av Nilsson (1987). Dessa resultat gäller i temperaturintervallet 15 – 30°C, se figur 34.



Figur 34. Förändring av RF i betong per °C temperaturförändring som funktion av fuktnivå och betongkvalitet. Data från Nilsson (1987) samt Sjöberg et al (2002).

Inom ramen för detta projekt har Fredin och Skoog (2005)<sup>14</sup> undersökt detta fenomen vid höga temperaturer, i temperaturintervallet 20 – 60°C. Undersökningen gjordes på en betongkvalitet, en ca 40 år gammal betong med vct 0.55 som borrades ur bjälklaget hos en befintlig byggnad.

Undersökningen visade att temperatureffekten på RF i betong är mer komplex än vad som tidigare uppmärksammats. I figur 35 har sammanställts RF-förändringen per °C temperaturförändring för betong av vct 0.55 vid olika temperaturnivåer, 30 – 60 °C.



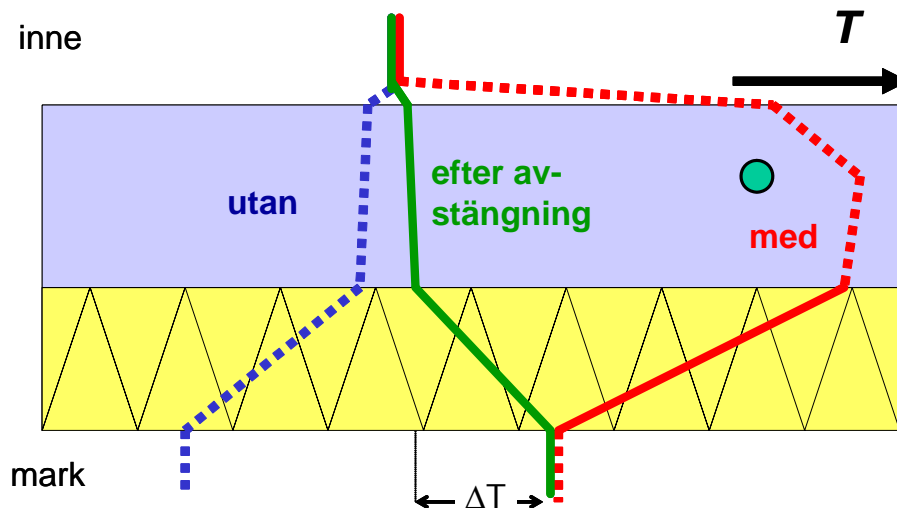
Figur 35. Förändring av RF i betong per °C temperaturförändring som funktion av fuktnivå, betongkvalitet och temperaturnivå, Fredin & Skoog(2005).

RF-mätningar vid dessa höga temperaturer är inte tillåtna enligt RBK. Om man kan acceptera större mätosäkerheter än RBK skulle sådana mätningar kunna göras som indikationsmätningar för att följa ett uttorkningsförlopp för golv med golvvärme, utan att stänga av golvvärmen. När sedan en tillförlitlig RBK-mätning skall göras, stängs golvvärmen av ett antal dagar före fuktmätningen enligt Sjöberg & Nilsson (2007).

Det har inte ingått i projektet att värdera olika metoder att mäta RF i betonggolv med golvvärme. I projektet har alla mätningar gjorts på uttagna prover. Det finns för närvarande inte någon tillförlitlig metod att mäta RF i ett varmt golv i fält. Risken för stora systematiska fel om man mäter i ett mätrör som är varmare än RF-givaren är uppenbar.

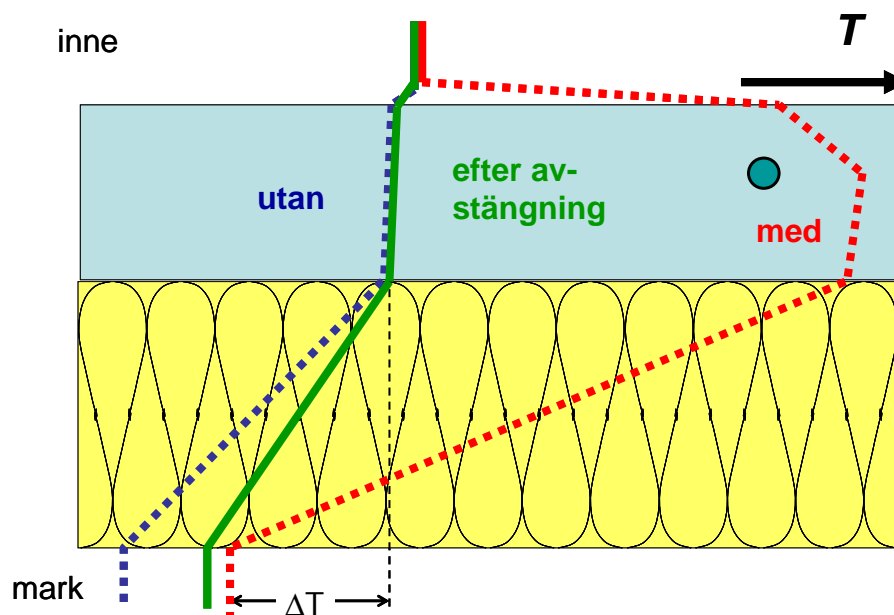
## 9. Golvvärmekudde

Golvvärmee i en betongplatta på mark bygger upp en värmekudde i marken under byggnaden. Temperaturskillnaden över värmeisoleringen blir större, vilket gör att betongplattan blir torrare än utan golvvärmee, figur 36. När golvvärmee stängs av över sommaren kan markfukt i ångfas transporteras uppåt genom en diffusionsöppen mineralullsisolering och ovanpåliggande golvkonstruktion därför att marken kan vara varmare än betongplattan och den höga ånghalten i marken driver fukten uppåt, Nilsson & Andersson (1981)<sup>15</sup> och Roots (2000)<sup>16</sup>.



Figur 36. Temperaturfördelningar i ett golv utan respektive med golvvärmee, när värmee är på och när den stängts av. Tunn värmeisolering.

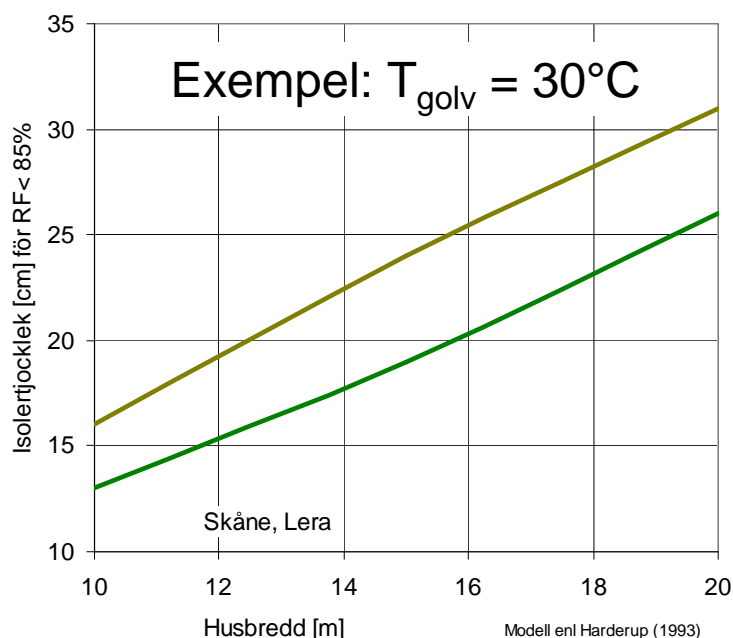
Om man väljer en tillräckligt tjock värmeisolering, kan man begränsa uppvärmningen av marken under byggnaden så att den inte blir varmare än inne, se figur 37.



Figur 37. Temperaturfördelningar i ett golv utan respektive med golvvärmee, när värmee är på och när den stängts av. Tjock värmeisolering.

Omvänd fukttransport på grund av golvvärmekudden hindras alltså enklast och säkrast genom att dimensionera värmeisoleringen så att värmekudden i marken inte blir för varm, dvs genom att begränsa värmeförlusterna till marken, Nilsson (2004)<sup>17</sup>. Temperaturen i marken under en diffusionsöppen värmeisolering skall vara högst 3°C under innetemperaturen, se figur 37. Ånghalten i marken kan då aldrig ge högre RF i betongplattan än 85 %. En så tjock värmeisolering som behövs för detta, ger naturligtvis också minskade energiförluster.

I figur 38 visas resultaten av beräkningar av vilken isoleringstjocklek som behövs för olika stora byggnader under de svåraste förhållandena, vilka är hus byggda på lera i sydligaste delen av landet. De två kurvorna gäller för olika form på byggnaden. Den undre gäller för en långsmal byggnad och den övre för en kvadratisk. Figuren gäller för ett exempel med en temperatur på +30°C hos den varma betongplattan och en innetemperatur på +20°C. Med isoleringstjocklekar enligt figuren blir värmekudden aldrig varmare än +17°C. Efter avstängning av golvvärmen kan marken alltså inte bli varmare än så, dvs värmeisoleringen ger en temperaturskillnad på minst 3°C.



Figur 38. Erforderlig isoleringstjocklek för att värmekudden inte skall få högre temperatur än 3°C under innetemperaturen, Nilsson (2004), och markfukten i ångfas inte ge högre RF än 85 % i plattan. Modell enligt Harderup (1993)<sup>18</sup>.

Om temperaturskillnaden på mer än 3°C inte kan uppnås med aktuell isoleringstjocklek måste andra lösningar användas. Fukttransporten uppåt från marken från en tillfällig golvvärmeavstängning kan fördröjas med hjälp av en ångspärr eller genom att välja en tät värmeisolering, t ex EPS eller XPS i extrema fall. En fuktsäkerhetsprojektering krävs för att verifiera att lösningen fungerar med tillfredsställande säkerhetsmarginal.



## 10. Konklusioner

### 10.1 Mätdelen av projektet

Den experimentella delen av projektet har klart visat på en rad olika effekter som uppstår då golvvärme används i betonggolv. Dessa är bland annat;

- 1) Användning av golvvärme under uttorkningsperioden innan mattläggning sänkte RF i betongen (medelfuktnivån) med i storleksordningen 2,5 – 5 % RF. Detta betyder mycket uttryckt i sparad torktid.
- 2) Användning av golvvärme överhuvud taget (även start efter mattläggning) sänkte RF i betongen (medelfuktnivån) med i storleksordningen 2 – 3 % RF.
- 3) Vid betong med vct 0.6 uppnåddes bästa torkeffekt med golvvärme. Denna förbättrade effekt kan sannolikt kompensera för en del av den bättre självtorkningen som betong med vct 0.4 har.
- 4) Omfördelningen av fukt i golv med golvvärme, under en tät beläggning, ger något lägre RF intill de varma rören än mitt emellan rören. Skillnaden är dock inte alls så stor som misstänktes efter vissa tidigare beräkningar, Sjöberg et al (2002).
- 5) Laboriermätningarna har gett relativt tydliga resultat om hur fuktjämvikten ser ut i golv med golvvärme. Detta var ett av huvudsyften med den experimentella delen av projektet.

### 10.2 Beräkningsdelen av projektet

Ur beräkningsdelen av projektet kan man dra följande slutsatser:

- 6) Olika fukttransportantaganden ger helt olika tvådimensionella fuktfördelningar i golv med golvvärme. Detta var känt sedan de tidigare projekten.
- 7) Beräkningar med två termer för fukttransport, där den andra termen har RF som fukttransportpotential, ger bäst överensstämmelse med laboriermätningarna om den andra termen ges störst betydelse.
- 8) Med detta fukttransportantagande har lämpliga mätdjup för golv med golvvärme kunnat beräknas. Samma mätdjup som för icke värmda golv, 0.4 D, förefaller vara på säkra sidan i de fall som prövats, med värmerören på olika djup. Sorptionskurvas hysteres har dock inte beaktats vid dessa beräkningar.

### 10.3 Temperaturinverkan på RF

Inom ramen för projektet har kompletterande undersökningar gjorts av temperaturinverkan på RF vid mätning vid en högre temperatur än +20°C. Mätningar har gjorts för betong med vct 0.55, men vid temperaturer upp till +60°C och i ett stort RF-intervall. Temperatureffekten är betydligt större än vid +20°C och den ökar med temperaturnivån.

### 10.4 Effekt av golvvärmekudde på markfukttillförsel

Inverkan av golvvärmeavstängning på risken för omvänd fukttransport från marken har beskrivits i ett särskilt avsnitt. Det visar sig att problematiken med golvvärmekudden har en enkel lösning. Tjockleken hos en diffusionsöppen värmeisoleringen skall fuktsäkerhetsprojekteras så att golvvärmekudden inte blir varmare än 3°C under rumstemperaturen. Ett diagram med ett exempel har inkluderats i rapporten.

## 11. Referenser

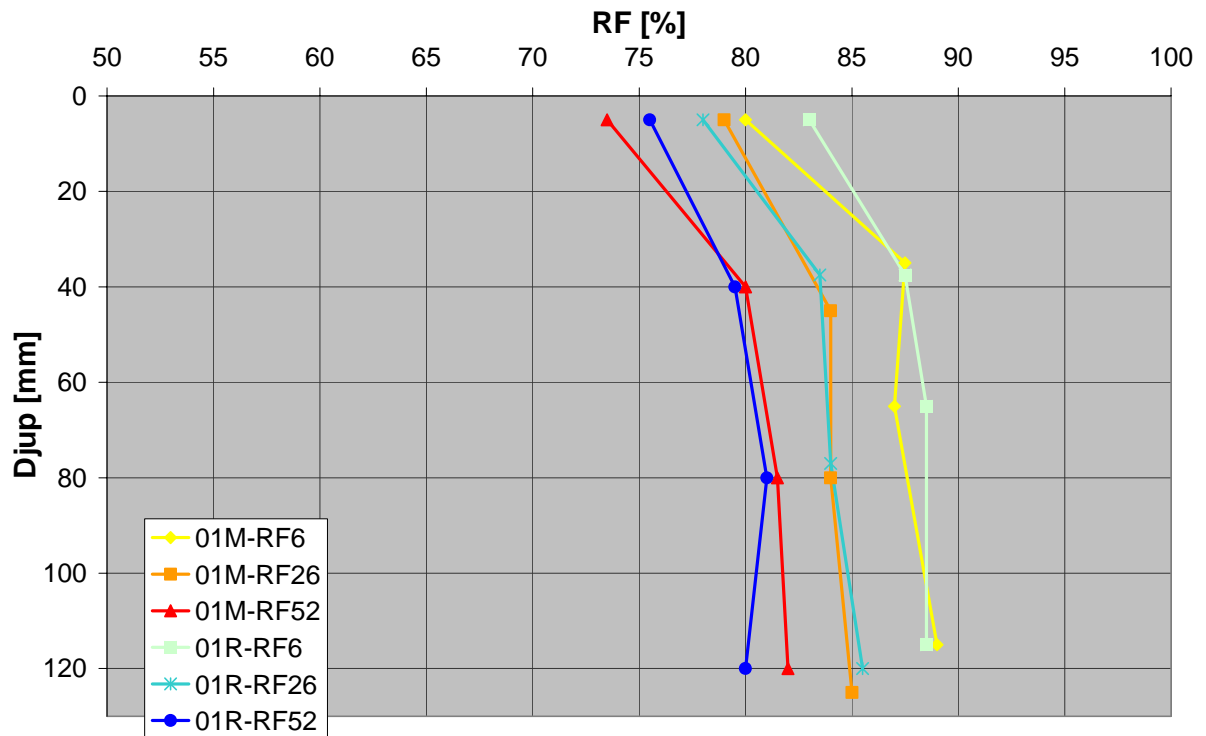
---

- <sup>1</sup> H. Wengholt Johnsson (2000) *Uttorkning av byggfukt i betongplatta med ingjuten värmekabel*. Muntliga uppgifter om projektresultat under avrapportering.
- <sup>2</sup> L.-O. Nilsson (1980). *Värme i betonggolv. Pilotförsök*. Uppdragsrapport, avd Byggnadsmaterial, LTH
- <sup>3</sup> L.-O. Nilsson (1987) Temperature effects in relative humidity measurements on concrete - Some preliminary studies. Contribution to Nordic Symposium on Building Physics, Lund, August 1987.
- <sup>4</sup> J. Kropp (1998) (Ed.) *Standard Test Methods for Concrete Permeability Measurements*, EU-BCR Research Contract MAT1 - CT93 - 0001
- <sup>5</sup> A Sjöberg, L-O Nilsson & T Rapp (2002) *Fuktmätning i betonggolv med golvvärme. Etapp I: Förstudie*. Publikation P-02:1, institutionen för Byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 2002.
- <sup>6</sup> A. Sjöberg (2003) Direktlimmat trägolv på betongunderlag - Teoretiska beräkningar av fuktbelastning från undergolvet. Rapport TVBM-3112, avd Byggnadsmaterial, LTH, Lund
- <sup>7</sup> E. Mattsson (2001). Mätning och beräkning av uttorkningsförloppet för betongbjälklag med golvvärme. Examensarbete E-01:2. Inst f Byggnadsmaterial, CTH
- <sup>8</sup> Sveriges Byggindustrier (2001) *Manual – Fuktmätning i betong*. Godkänd av RBK, rådet för byggkompetens. [www.rbk.nu](http://www.rbk.nu)
- <sup>9</sup> B. Persson (2006) Fuktfördelning i betonggolv med vattenburen värme – inverkan av betongtyp, rördjup och temperatur, - datarapport. TVBM-7189, avd Byggnadsmaterial, LTH, Lund
- <sup>10</sup> A Sjöberg & L-O Nilsson (2007) *Fuktmätning i betonggolv med golvvärme. Etapp III: Limmade trägolv*. TVBM-3141, avd Byggnadsmaterial, LTH, Lund
- <sup>11</sup> B Bergman (1992) *Industriell försöksplanering och robust konstruktion*. Studentlitteratur, Lund.
- <sup>12</sup> G. Hedenblad (1993) Water vapour permeability of cement based materials, rapport TVBM-1014, Building Materials. Lund Institute of Technology, Lund
- <sup>13</sup> L-O Nilsson (2006) *Modelling moisture conditions in cementitious materials – some present challenges*. Keynote paper at 2nd International Symposium on Advances in Concrete through Science and Engineering, September 11-13, 2006, Quebec City, Canada.
- <sup>14</sup> H. Fredin, H. Skoog (2005), Fuktmätning i betong Temperatureffekter samt korrigeringsförfarande vid RF-mätning. LTH TVBM-5057
- <sup>15</sup> L.-O. Nilsson & A.-C. Andersson (1981). *Golvvärme i betonggolv. Temperaturfördelningsberäkningar. Analys av fuktbalansen*. Uppdragsrapport, avd Byggnadsmaterial, LTH, Lund
- <sup>16</sup> Roots (2000). *Fuktanalys av grunder som utföres med golvvärme*. Utkast till projektbeskrivning till BFR. SP, Borås
- <sup>17</sup> L.-O. Nilsson (2004) *EPS som isolering under platta på mark. Fuktaspekter*. EPS i grund och mark. Plast- och kemiföretagen, EPS-bygg.
- <sup>18</sup> L-E Harderup (1993) *Golv på mark*, Fuktsäkerhet i byggnader. FuktCentrums informationsskrift BFR T17:1993, Byggtjänst, Stockholm

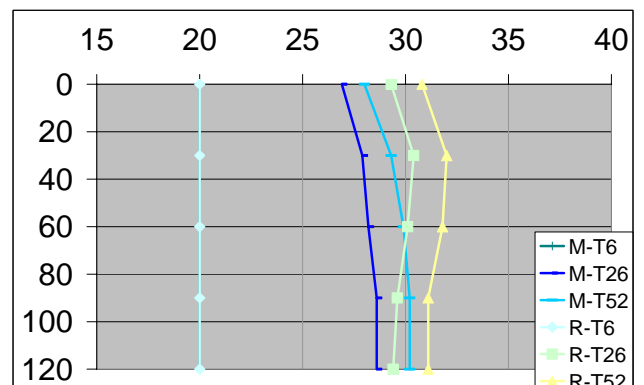
## Golvplatta 1 (40-30-14)

Betongkvalitet	0,40	vct
Värmerör	30	mm
Förseglad härdn.	14	dygn
Uttorkning	14	dygn
Mattläggning efter	28	dygn
Golvvärme	vid mattläggning	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	80,0	79	73,5	83,0	78	75,5
35	87,5					
37,5				87,5	83,5	
40				80		
45				84		
65	87,0			88,5		
77,5				84		
80				81,5		
115	89,0			88,5		
120				85,5		
125	85			80		



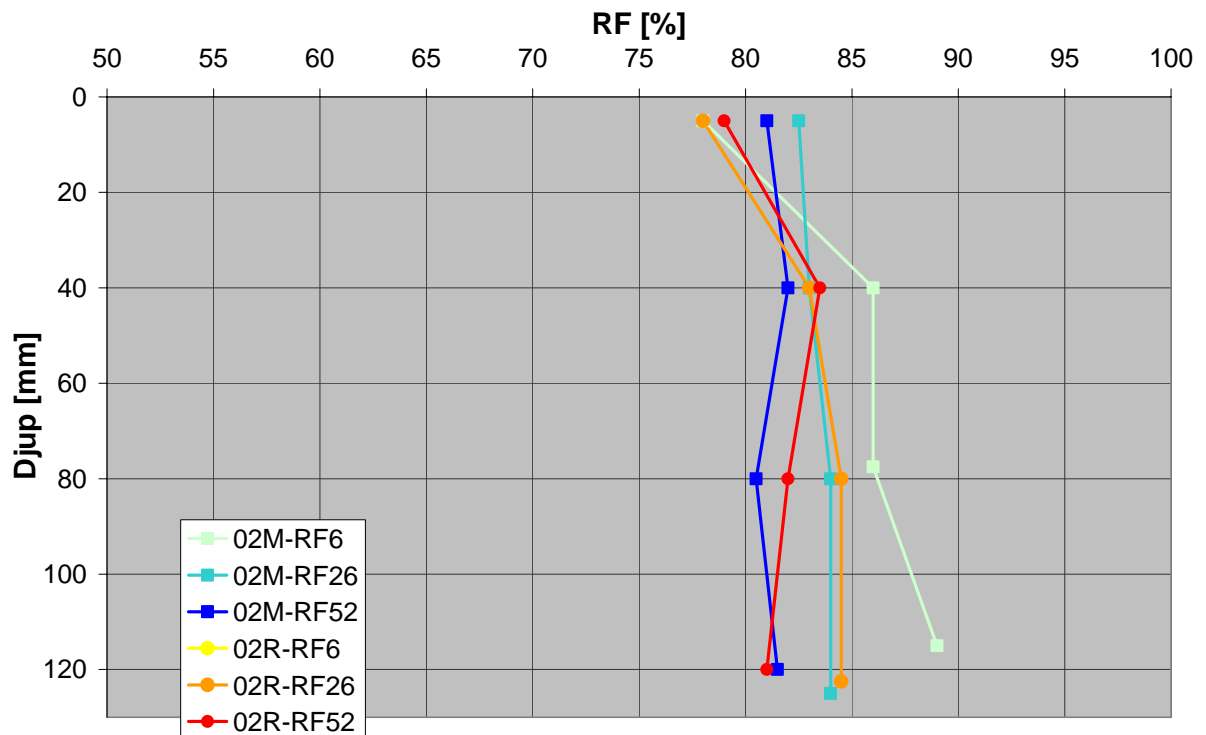
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	20	26,9	28	20	29,3	30,8
30	20	27,9	29,3	20	30,4	32,0
60	20	28,2	29,9	20	30,1	31,8
90	20	28,6	30,2	20	29,6	31,1
120	20	28,6	30,2	20	29,4	31,1



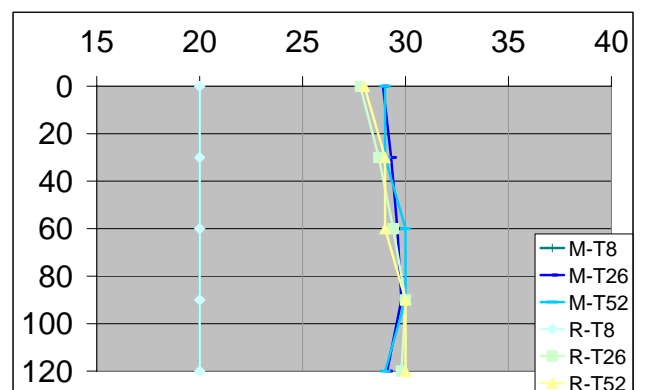
## Golvplatta 2 (40-30-28)

Betongkvalitet	0,40	vct
Värmerör	30	mm
Förseglad härdn.	14	dygn
Uttorkning	28	dygn
Mattläggning efter	42	dygn
Golvvärme	vid mattläggning	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	78,0	82,5	81,0	78,0	79,0	
40	86,0	83,0	82,0	83,0	83,5	
77,5	86,0					
80		84,0	80,5	84,5	82,0	
115	89,0					
120			81,5			81,0
122,5				84,5		
125		84,0				



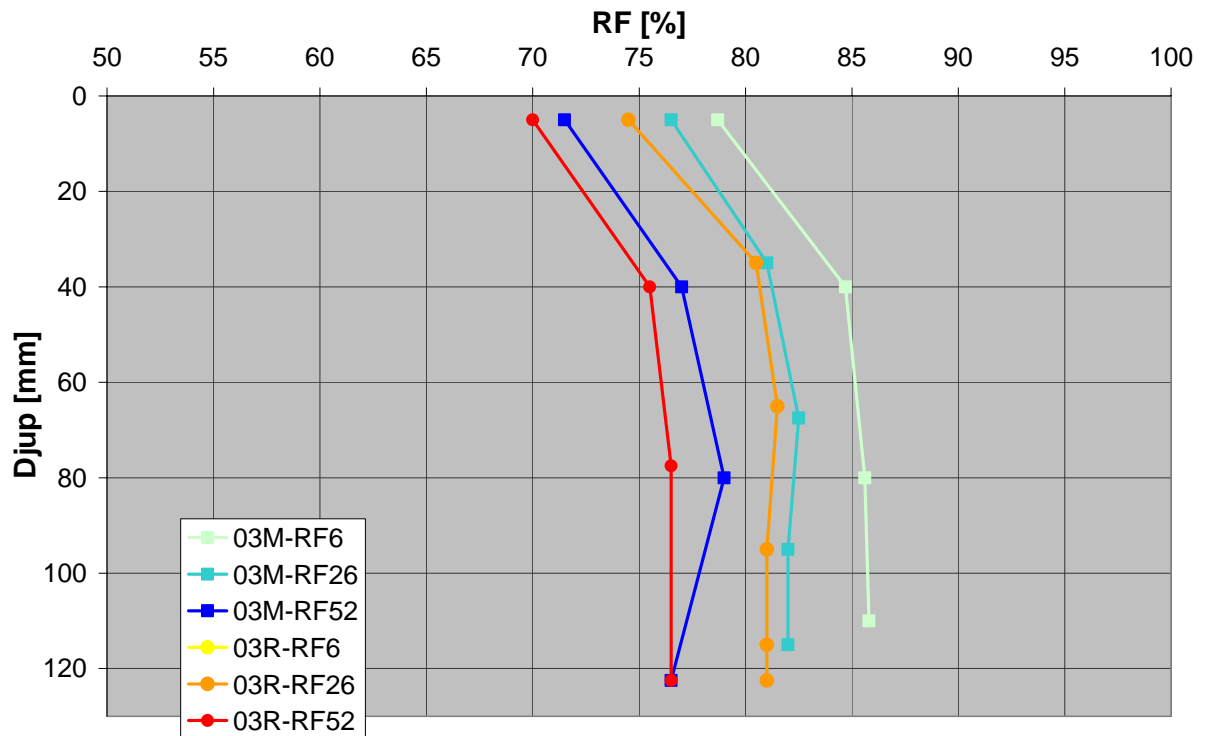
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	20	28,9	29,0	20	27,8	28,0
30	20	29,3	29,0	20	28,7	29,0
60	20	29,6	30,0	20	29,4	29,0
90	20	29,8	30,0	20	30,0	30,0
120	20	29,1	29,0	20	29,8	30,0



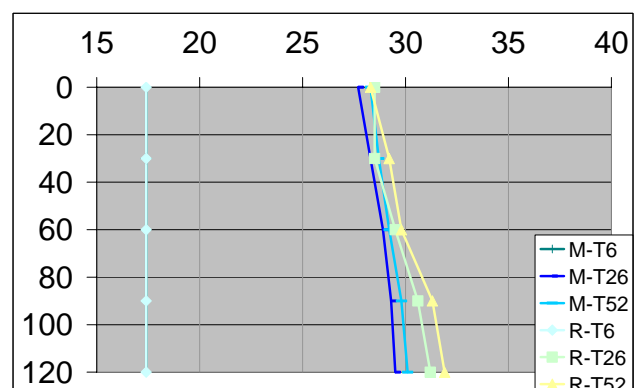
## Golvplatta 3 (40-100-14)

Betongkvalitet	0,40	vct
Värmerör	100	mm
Förseglad härdsn.	14	dygn
Uttorkning	14	dygn
Mattläggning efter	28	dygn
Golvvärme	vid mattläggning	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	78,7	76,5	71,5		74,5	70,0
35		81,0			80,5	
40	84,7		77,0			75,5
65					81,5	
67,5		82,5				
77,5						76,5
80	85,6		79,0			
95		82,0			81,0	
110	85,8					
115		82,0			81,0	
122,5			76,5		81,0	76,5



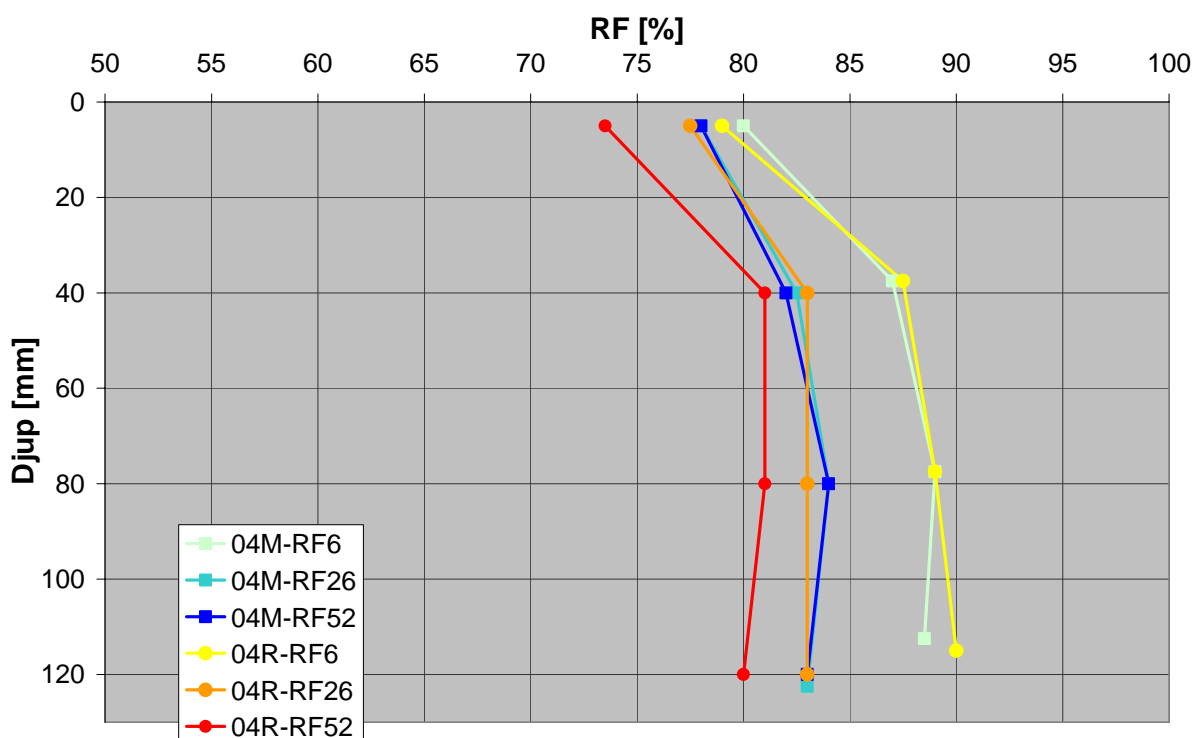
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
0	17,4	27,7	28,3	17,4	28,5	28,3
30	17,4	28,3	28,7	17,4	28,5	29,2
60	17,4	28,9	29,2	17,4	29,5	29,8
90	17,4	29,3	29,8	17,4	30,6	31,3
120	17,4	29,5	30,1	17,4	31,2	31,9



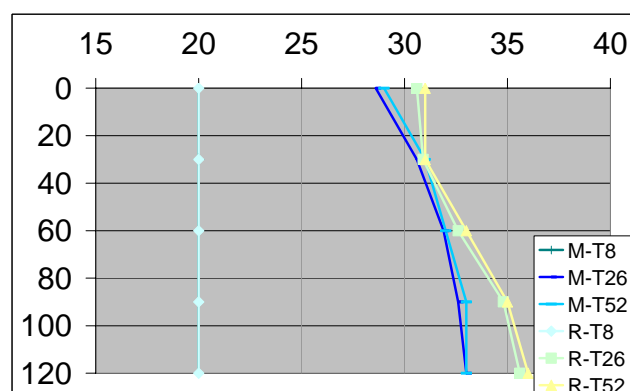
## Golvplatta 4 (40-100-28)

Betongkvalitet	0,40	vct
Värmerör	100	mm
Förseglad härdn.	14	dygn
Uttorkning	28	dygn
Mattläggning efter	42	dygn
Golvvärme	vid mattläggning	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	80,0	78,0	78,0	79,0	77,5	73,5
37,5	87,0			87,5		
40		82,5	82,0		83,0	81,0
77,5	89,0			89,0		
80		84,0	84,0		83,0	81,0
112,5	88,5					
115				90,0		
120			83,0		83,0	80,0
122,5		83,0				



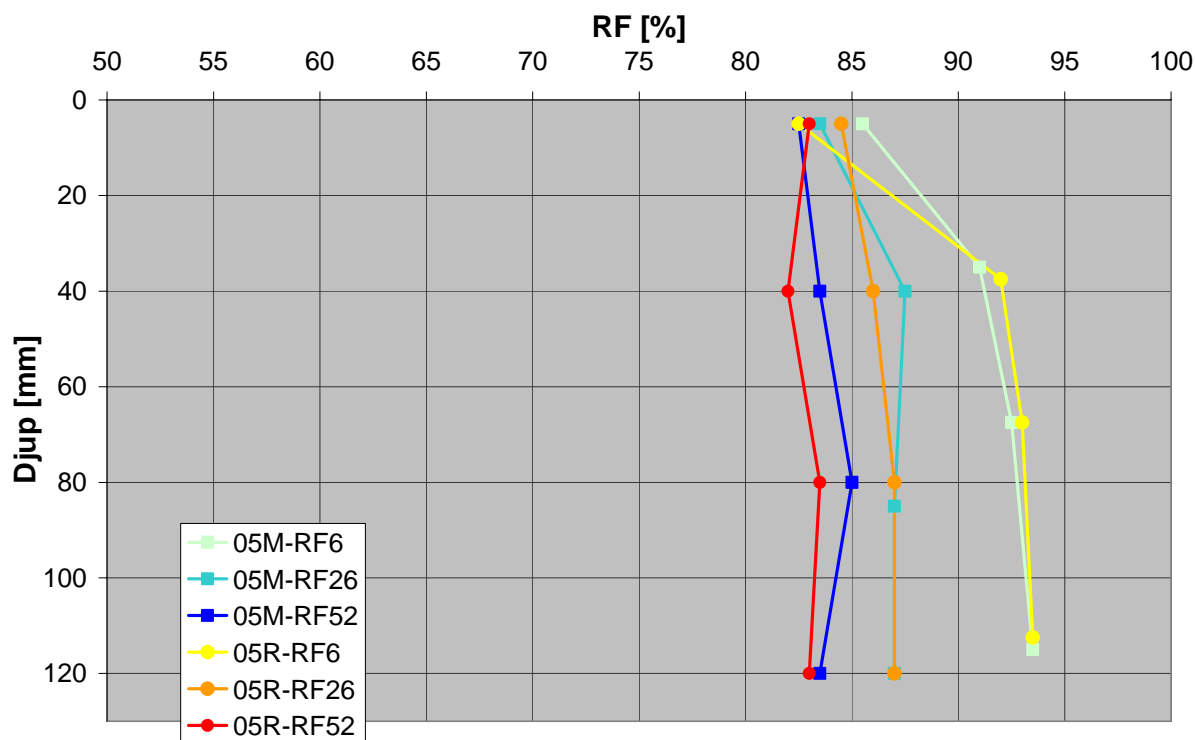
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	20	28,6	29,0	20	30,6	31,0
30	20	30,6	31,0	20	30,9	31,0
60	20	31,9	32,0	20	32,6	33,0
90	20	32,6	33,0	20	34,8	35,0
120	20	33,0	33,0	20	35,6	36,0



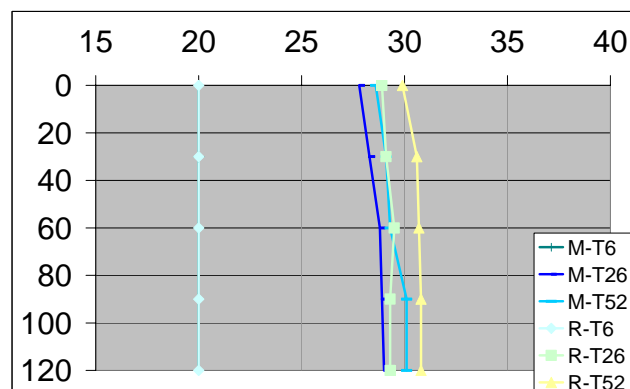
## Golvplatta 5 (60-30-14)

Betongkvalitet	0,60	vct
Värmerör	30	mm
Förseglad härdsn.	14	dygn
Uttorkning	14	dygn
Mattläggning efter	28	dygn
Golvvärme	vid mattläggning	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	85,5	83,5		82,5	84,5	83,0
35	91,0					
37,5				92,0		
40		87,5			86,0	82,0
67,5	92,5			93,0		
80					87,0	83,5
85		87,0				
112,5				93,5		
115	93,5					
120		87,0			87,0	83,0



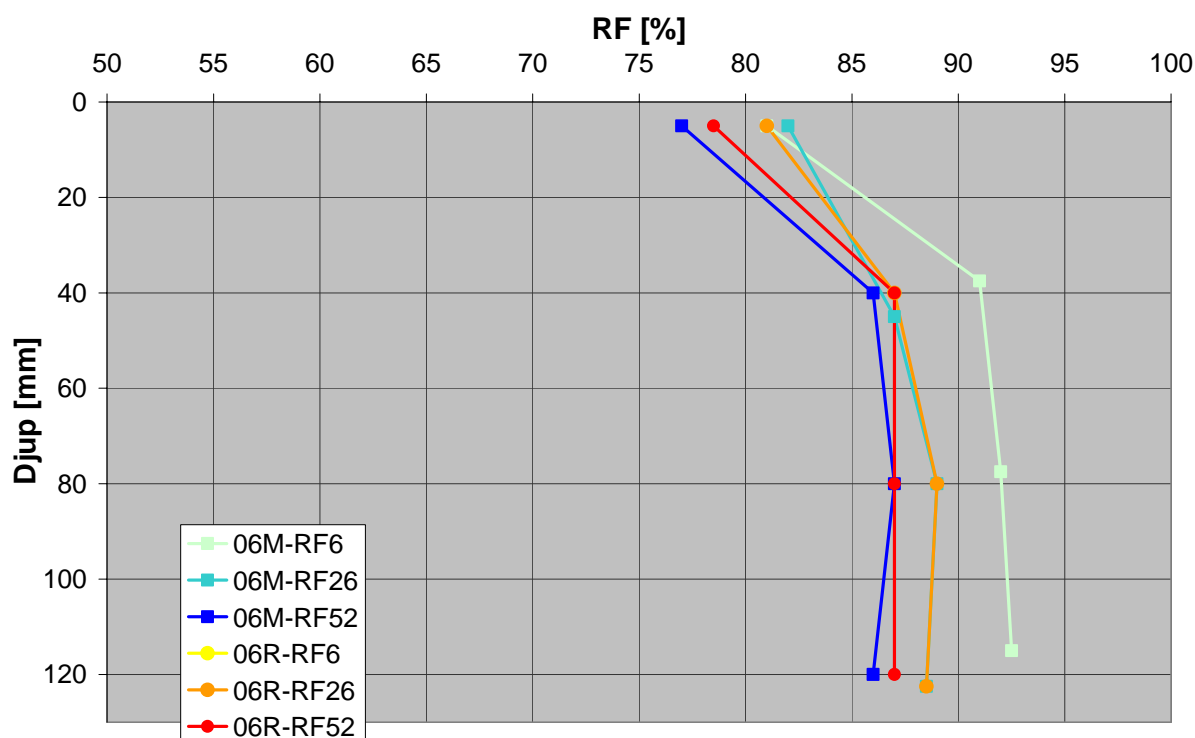
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
0	20	27,8	28,6	20	28,9	29,9
30	20	28,3	29,1	20	29,1	30,6
60	20	28,8	29,3	20	29,5	30,7
90	20	28,9	30,1	20	29,3	30,8
120	20	29,0	30,1	20	29,3	30,8



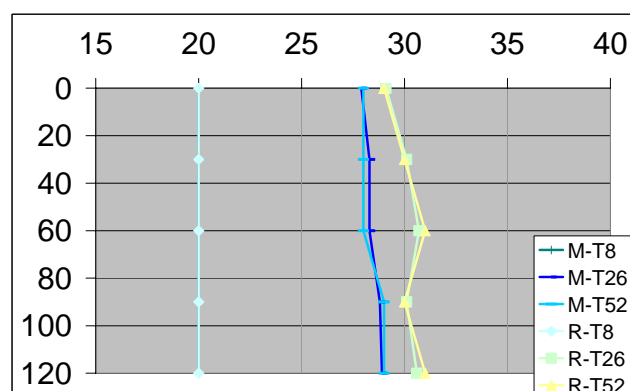
## Golvplatta 6 (60-30-28)

Betongkvalitet	0,60	vct
Värmerör	30	mm
Förseglad härdn.	14	dygn
Uttorkning	28	dygn
Mattläggning efter	42	dygn
Golvvärme	vid mattläggning	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	81,0	82,0	77,0		81,0	78,5
37,5	91,0					
40			86,0		87,0	87,0
45		87,0				
77,5	92,0					
80		89,0	87,0		89,0	87,0
115	92,5					
120			86,0			87,0
122,5		88,5			88,5	



Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	20	27,9	28,0	20	29,1	29,0
30	20	28,3	28,0	20	30,1	30,0
60	20	28,3	28,0	20	30,7	31,0
90	20	28,8	29,0	20	30,1	30,0
120	20	28,9	29,0	20	30,6	31,0

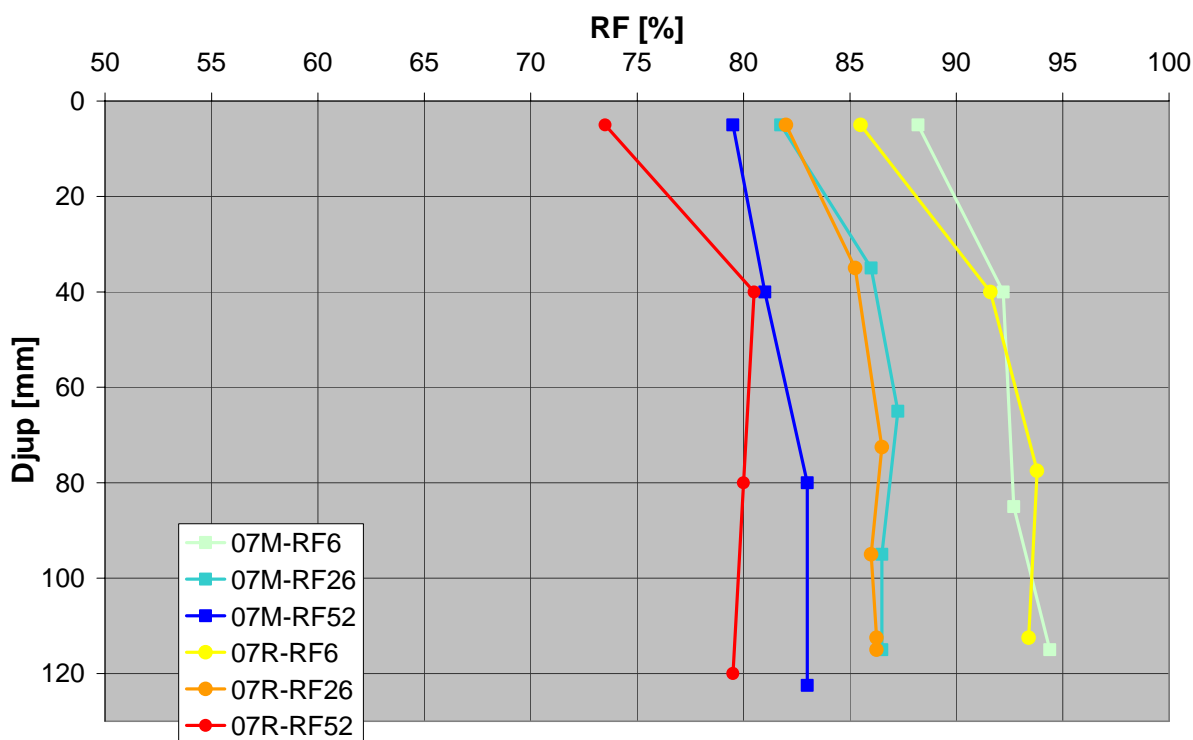




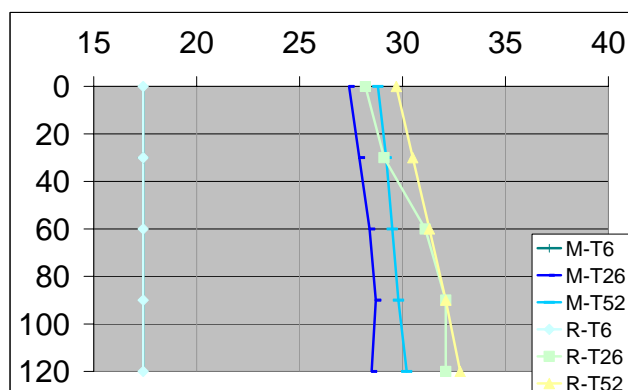
## Golvplatta 7 (60-100-14)

Betongkvalitet	0,60	vct
Värmerör	100	mm
Förseglad härdn.	14	dygn
Uttorkning	14	dygn
Mattläggning efter	28	dygn
Golvvärme	vid mattläggning	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	88,2	81,75	79,5	85,5	82	73,5
35		86			85,25	
40	92,2		81,0	91,6		80,5
65		87,25				
72,5					86,5	
77,5				93,8		
80			83,0			80,0
85	92,7					
95		86,5			86	
112,5				93,4	86,25	
115	94,4	86,5			86,25	
120						79,5
122,5			83,0			



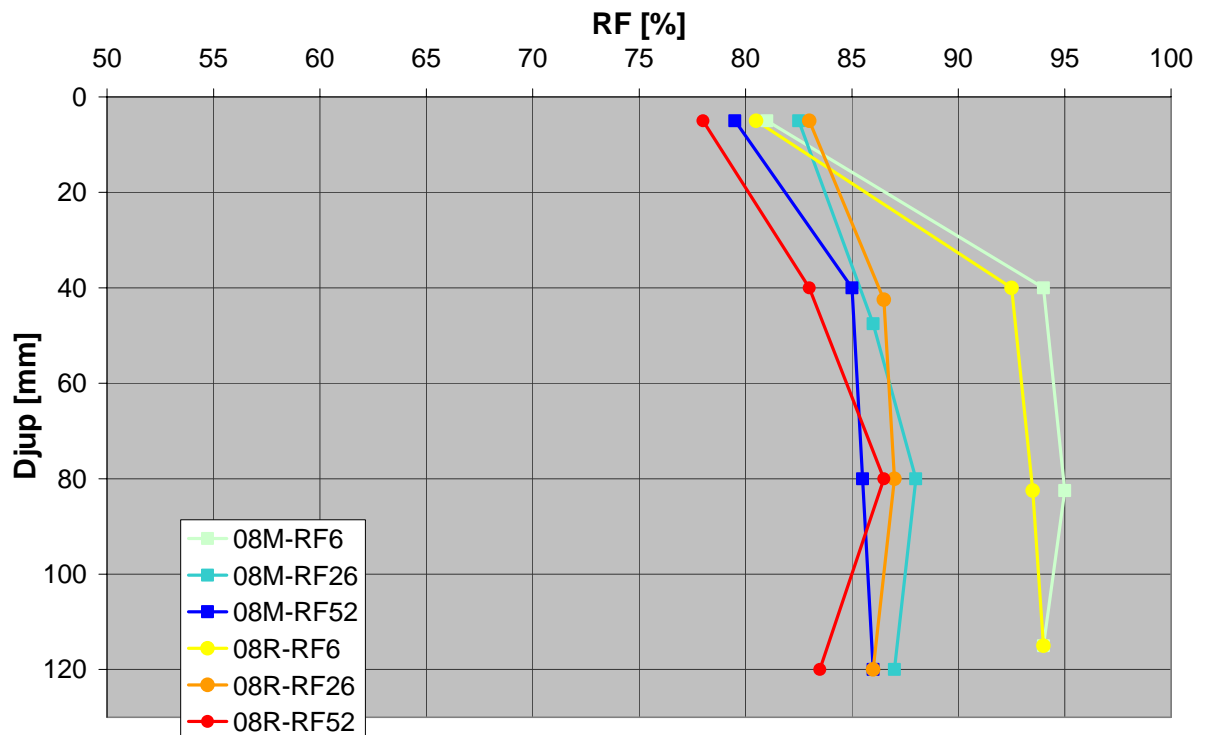
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
0	17,4	27,4	28,8	17,4	28,2	29,7
30	17,4	27,9	29,2	17,4	29,1	30,5
60	17,4	28,4	29,5	17,4	31,1	31,3
90	17,4	28,7	29,8	17,4	32,1	32,1
120	17,4	28,5	30,2	17,4	32,1	32,8



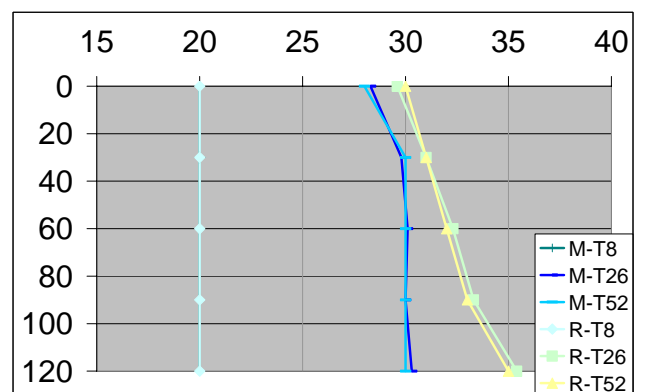
## Golvplatta 8 (60-100-28)

Betongkvalitet	0,60	vct
Värmerör	100	mm
Förseglad härdn.	14	dygn
Uttorkning	28	dygn
Mattläggning efter	42	dygn
Golvvärme	vid mattläggning	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	81,0	82,5	79,5	80,5	83,0	78,0
40	94,0		85,0	92,5		83,0
42,5					86,5	
47,5		86,0				
80		88,0	85,5		87,0	86,5
82,5	95,0			93,5		
115	94,0			94,0		
120		87,0	86,0		86,0	83,5



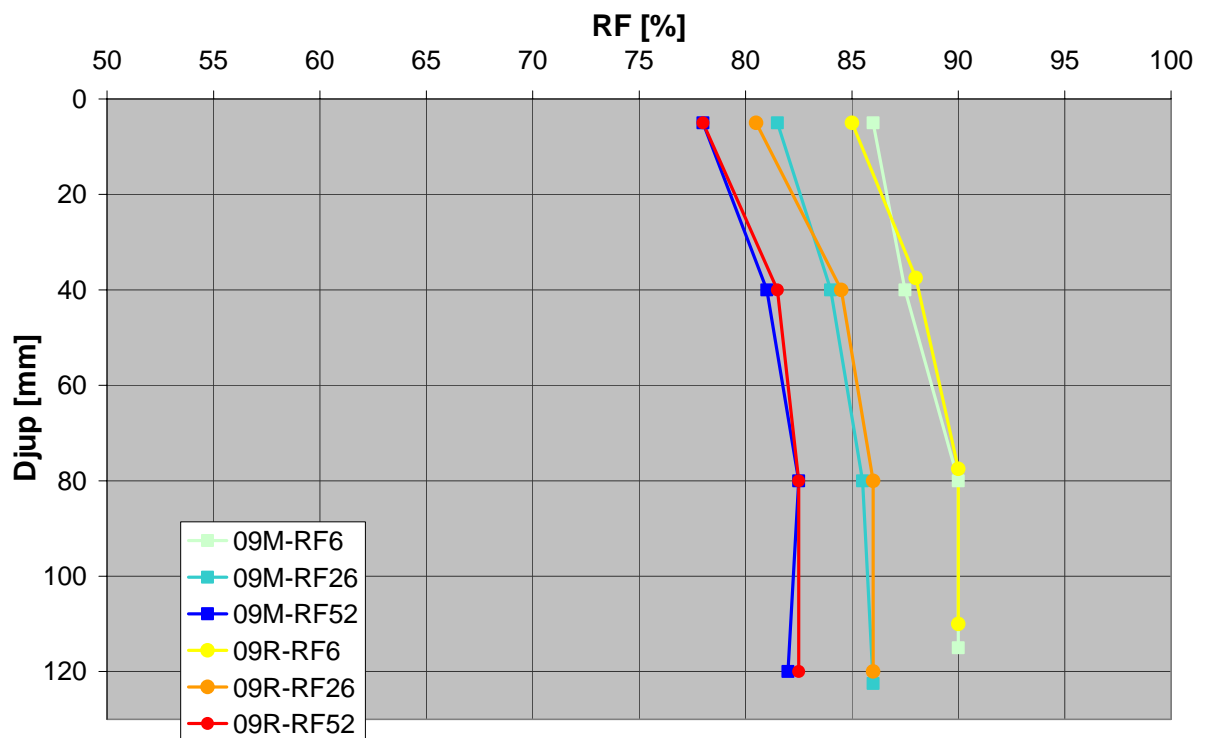
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	20	28,3	28,0	20	29,6	30,0
30	20	29,8	30,0	20	31,0	31,0
60	20	30,1	30,0	20	32,3	32,0
90	20	30,0	30,0	20	33,3	33,0
120	20	30,3	30,0	20	35,4	35,0



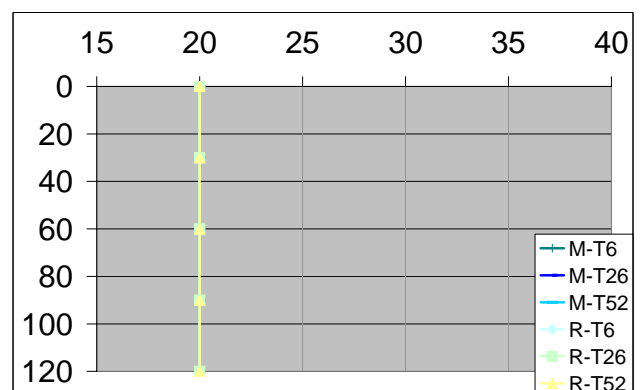
## Golvplatta 9 (40-00-14)

Betongkvalitet	0,40	vct
Värmerör	-	mm
Förseglad härdn.	14	dygn
Uttorkning	14	dygn
Mattläggning efter	28	dygn
Golvvärme	utan värme	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	86,0	81,5	78,0	85,0	80,5	78,0
15						
30				88,0		
37,5						
40	87,5	84,0	81,0		84,5	81,5
60						
77,5				90,0		
80	90,0	85,5	82,5		86,0	82,5
90						
110				90,0		
115	90,0					
120			82,0		86,0	82,5
122,5		86,0				



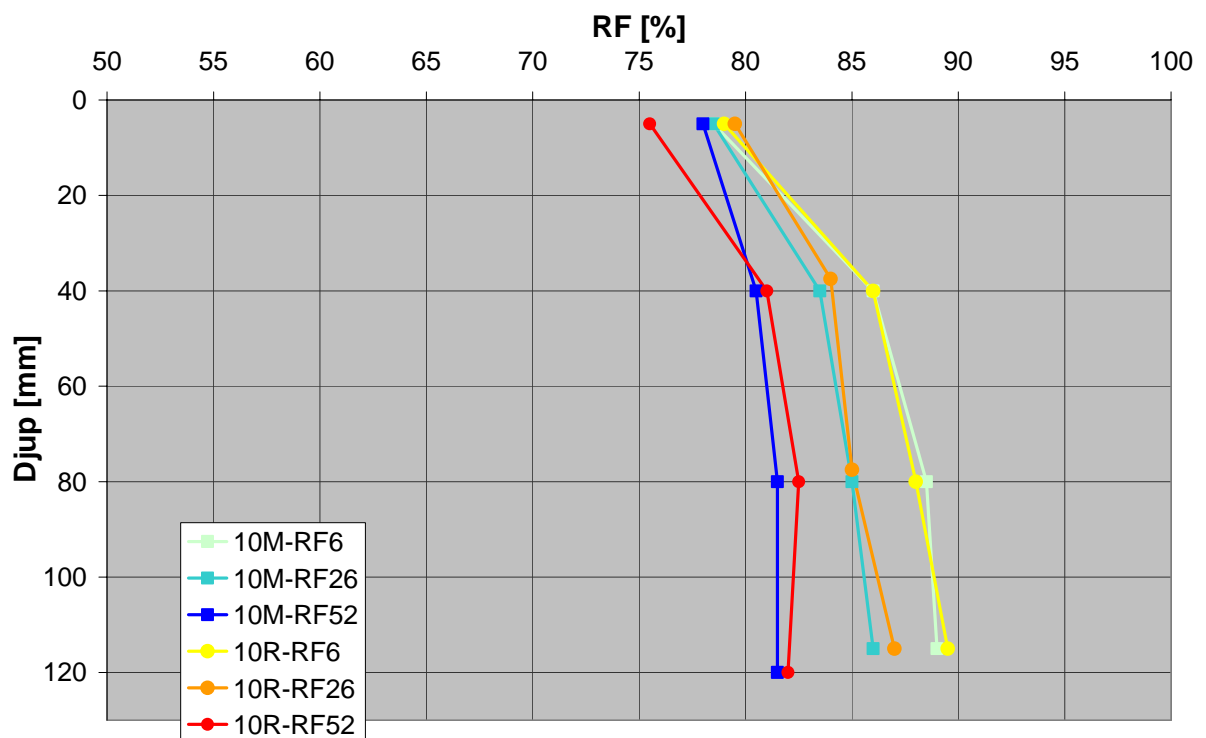
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
0	20	20	20	20	20	20
30	20	20	20	20	20	20
60	20	20	20	20	20	20
90	20	20	20	20	20	20
120	20	20	20	20	20	20



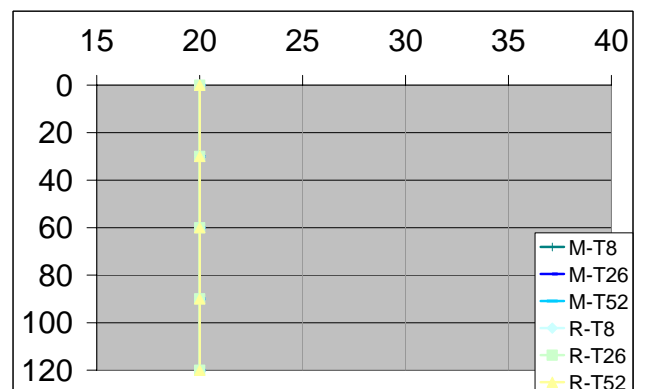
## Golvplatta 10 (40-00-28)

Betongkvalitet	0,40	vct
Värmerör	–	mm
Förseglad härdn.	14	dygn
Uttorkning	28	dygn
Matläggning efter	42	dygn
Golvvärme	utan värme	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	78,5	78,5	78,0	79,0	79,5	75,5
37,5					84,0	
40	86,0	83,5	80,5	86,0		81,0
77,5					85,0	
80	88,5	85,0	81,5	88,0		82,5
115	89,0	86,0		89,5	87,0	
120			81,5			82,0



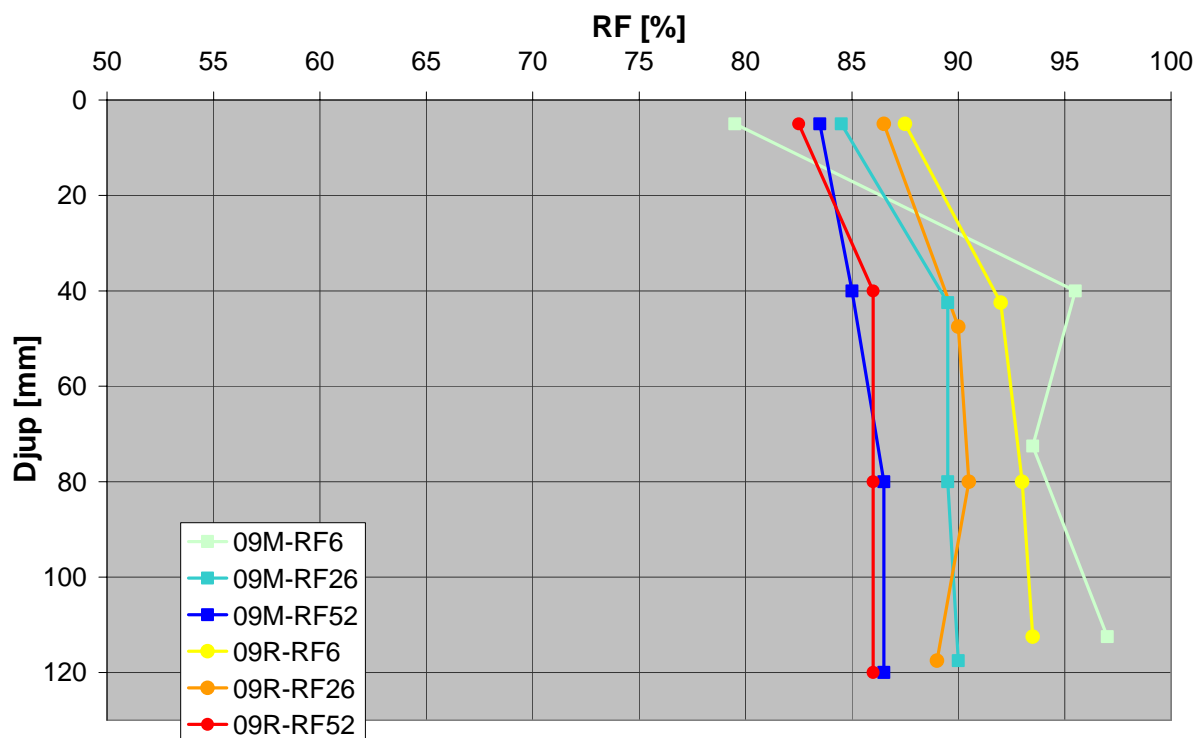
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	20	20	20	20	20	20
30	20	20	20	20	20	20
60	20	20	20	20	20	20
90	20	20	20	20	20	20
120	20	20	20	20	20	20



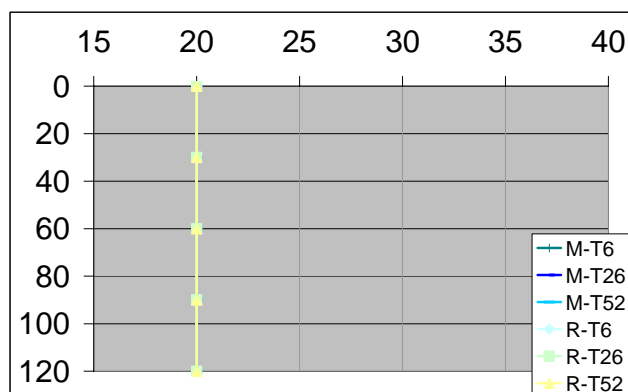
## Golvplatta 11 (60-00-14)

Betongkvalitet	0,60	vct
Värmerör	-	mm
Förseglad härdn.	14	dygn
Uttorkning	14	dygn
Mattläggning efter	28	dygn
Golvvärme	utan värme	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	79,5	84,5	83,5	87,5	86,5	82,5
40	95,5		85,0			86,0
42,5		89,5		92,0		
47,5					90,0	
72,5	93,5					
80		89,5	86,5	93,0	90,5	86,0
112,5	97,0			93,5		
117,5		90,0			89,0	
120			86,5			86,0



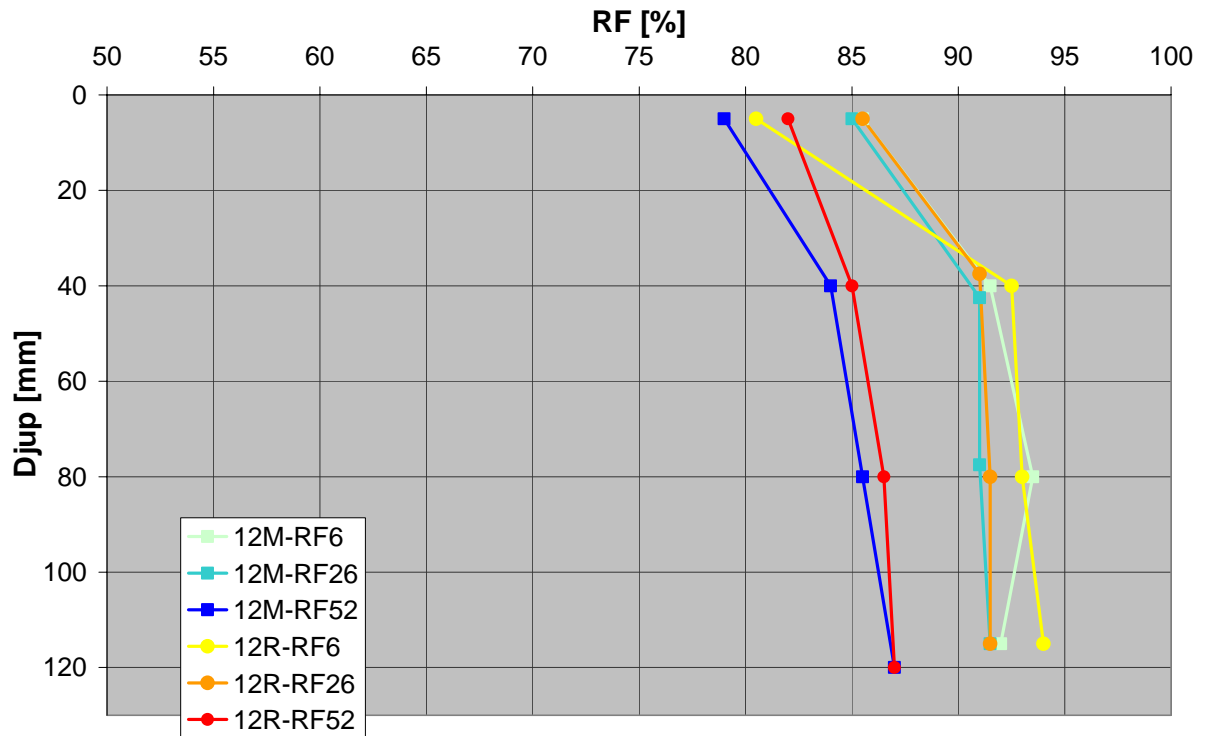
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
0	20	20	20	20	20	20
30	20	20	20	20	20	20
60	20	20	20	20	20	20
90	20	20	20	20	20	20
120	20	20	20	20	20	20



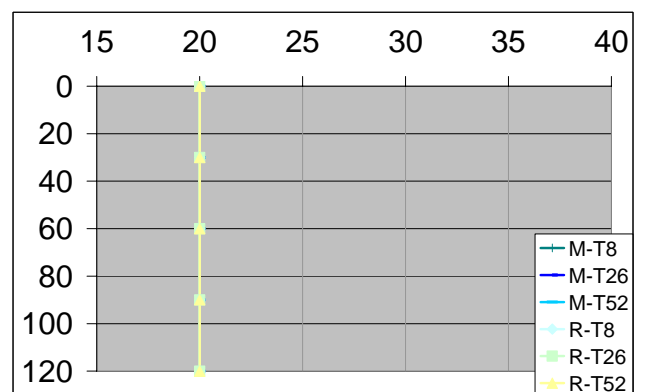
## Golvplatta 12 (60-00-28)

Betongkvalitet	0,60	vct
Värmerör	–	mm
Förseglad härdn.	14	dygn
Uttorkning	28	dygn
Mattläggning efter	42	dygn
Golvvärme	utan värme	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	85,5	85,0	79,0	80,5	85,5	82,0
37,5					91,0	
40	91,5		84,0	92,5		85,0
42,5		91,0				
77,5		91,0				
80	93,5		85,5	93,0	91,5	86,5
115	92,0	91,5		94,0	91,5	
120			87,0			87,0



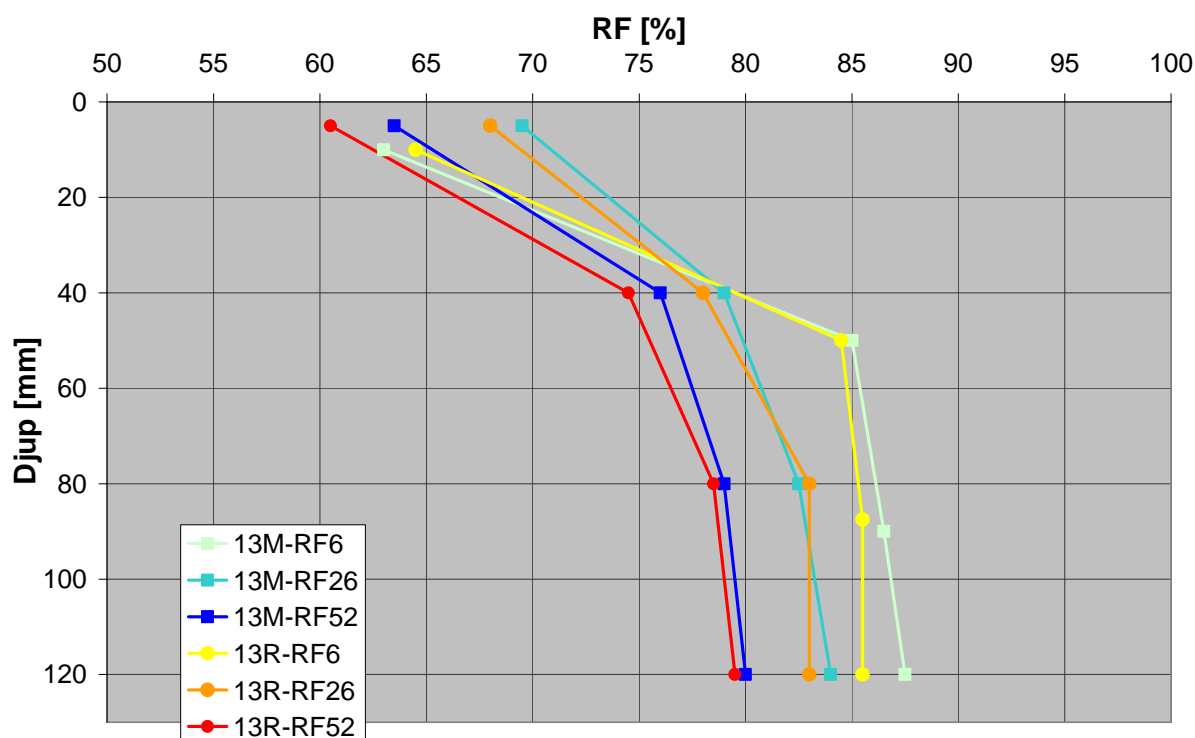
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	20	20	20	20	20	20
30	20	20	20	20	20	20
60	20	20	20	20	20	20
90	20	20	20	20	20	20
120	20	20	20	20	20	20



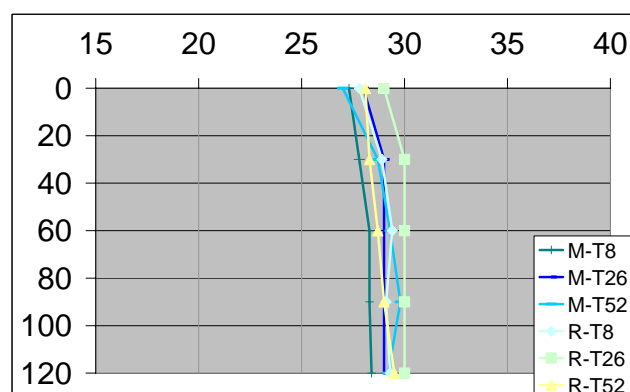
## Golvplatta 13 (40-30-120-rv0)

Betongkvalitet	0,40	vct
Värmerör	30	mm
Förseglad härdsn.	1	dygn
Golvvärme	efter härdning	
Uttorkning	120	dygn
Matläggning efter	121	dygn
Avjämning	ingen avjämning	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5		69,5	63,5		68,0	60,5
10	63,0			64,5		
40		79,0	76,0		78,0	74,5
50	85,0			84,5		
80		82,5	79,0		83,0	78,5
87,5				85,5		
90	86,5					
120	87,5	84,0	80,0	85,5	83,0	79,5



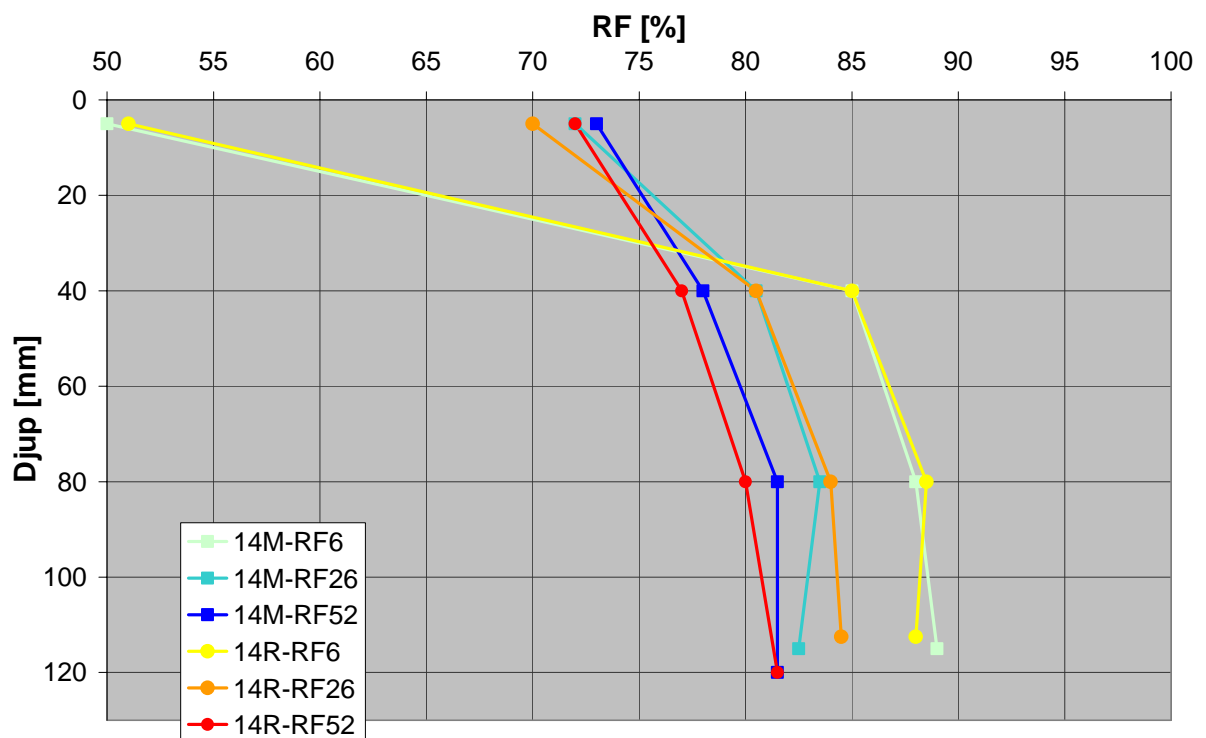
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	27,3	28,0	27,0	27,8	29,0	28,1
30	27,8	29,0	28,7	28,9	30,0	28,3
60	28,3	29,0	29,3	29,4	30,0	28,7
90	28,3	29,0	29,8	29,1	30,0	29,0
120	28,4	29,0	29,2	29,3	30,0	29,5



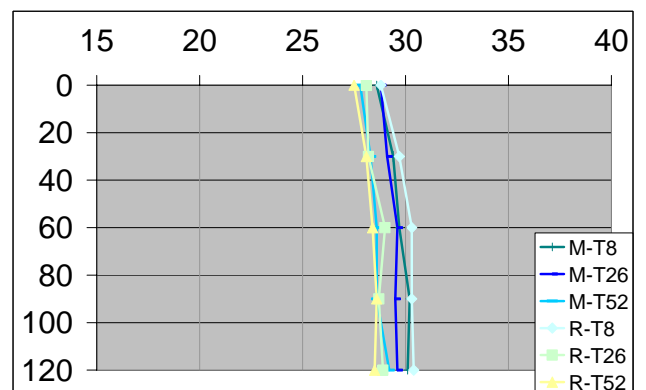
## Golvplatta 14 (40-30-120-v4)

Betongkvalitet	0,40	vct
Värmerör	30	mm
Förseglad härdn.	28	dygn
Avjämnning	efter härdning	
Golvvärme	efter härdning	
Uttorkning	92	dygn
Matläggning efter 120	dygn	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	50,0	72,0	73,0	51,0	70,0	72,0
40	85,0	80,5	78,0	85,0	80,5	77,0
80	88,0	83,5	81,5	88,5	84,0	80,0
112,5				88,0	84,5	
115	89,0	82,5				
120			81,5			81,5



Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	28,6	28,8	27,8	28,8	28,1	27,5
30	29,4	29,1	28,3	29,7	28,2	28,1
60	29,7	29,6	28,6	30,3	29,0	28,4
90	30,2	29,5	28,6	30,3	28,7	28,6
120	30,1	29,6	29,2	30,4	28,9	28,5

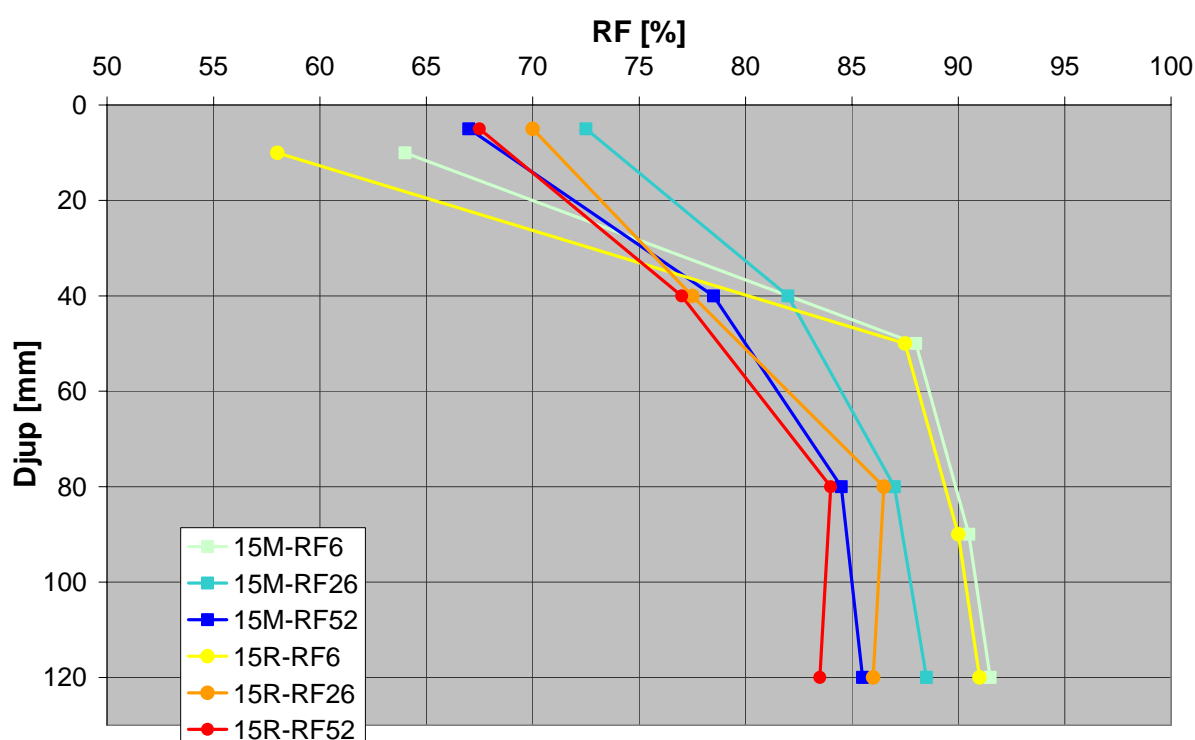




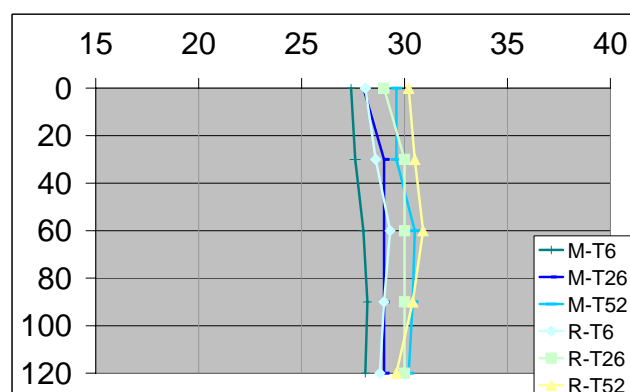
## Golvplatta 15 (60-30-120-rv0)

Betongkvalitet	0,60	vct
Värmerör	30	mm
Förseglad härdn.	1	dygn
Golvvärme	efter härdning	
Uttorkning	120	dygn
Matläggning efter	121	dygn
Avjämning	ingen avjämning	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5		72,5	67,0		70,0	67,5
10	64,0			58,0		
40		82,0	78,5		77,5	77,0
50	88,0			87,5		
80		87,0	84,5		86,5	84,0
90	90,5			90,0		
120	91,5	88,5	85,5	91,0	86,0	83,5



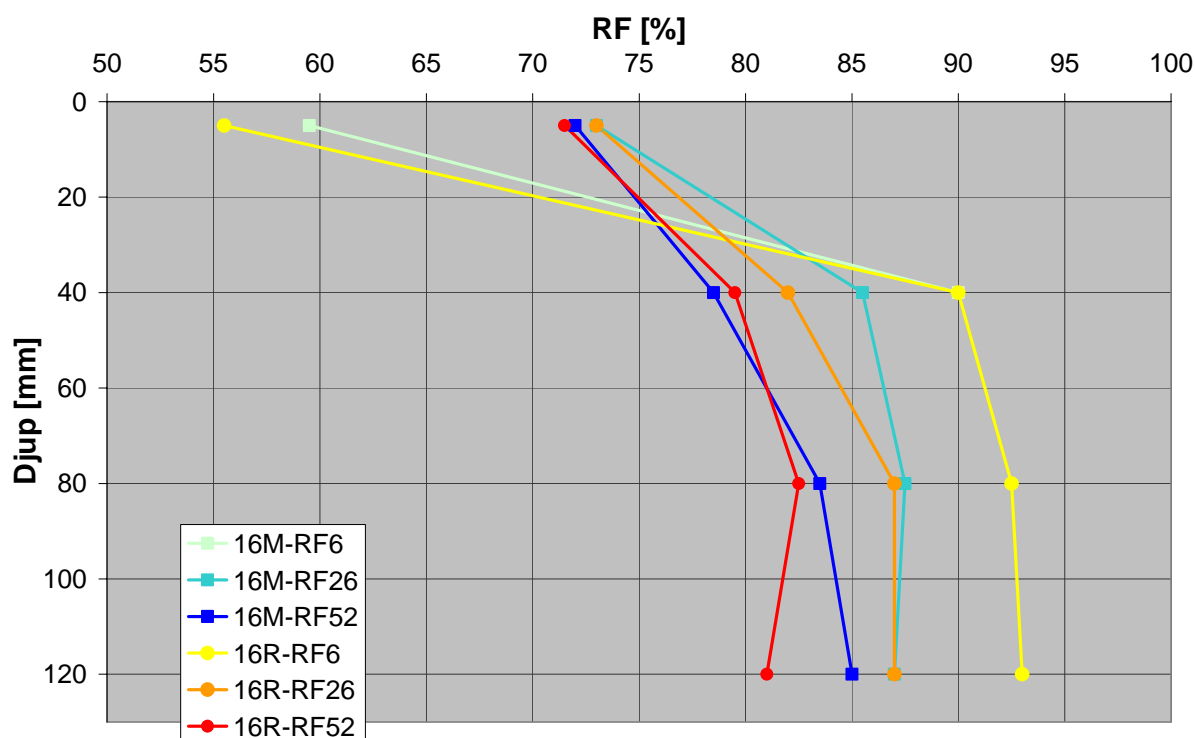
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	8v			26v		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	27,4	28,0	29,6	28,1	29,0	30,2
30	27,6	29,0	29,6	28,6	30,0	30,5
60	28,0	29,0	30,5	29,3	30,0	30,9
90	28,2	29,0	30,4	29	30,0	30,4
120	28,1	29,0	30,2	28,8	30,0	29,6



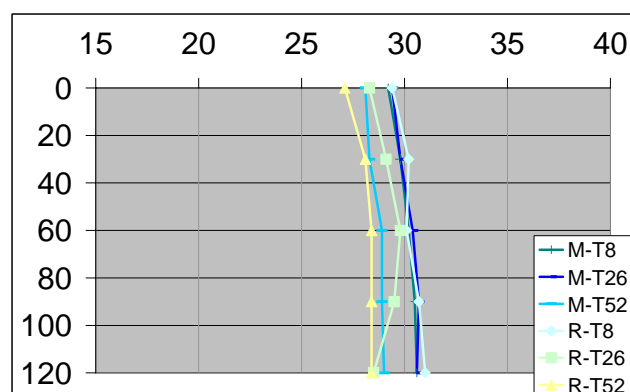
## Golvplatta 16 (60-30-120-v4)

Betongkvalitet	0,60	vct
Värmerör	30	mm
Förseglad härdn.	28	dygn
Avjämnning	efter härdning	
Golvvarme	efter härdning	
Uttorkning	92	dygn
Matläggning efter	120	dygn

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	59,5	73,0	72,0	55,5	73,0	71,5
40	90,0	85,5	78,5	90,0	82,0	79,5
80		87,5	83,5	92,5	87,0	82,5
120		87,0	85,0	93,0	87,0	81,0



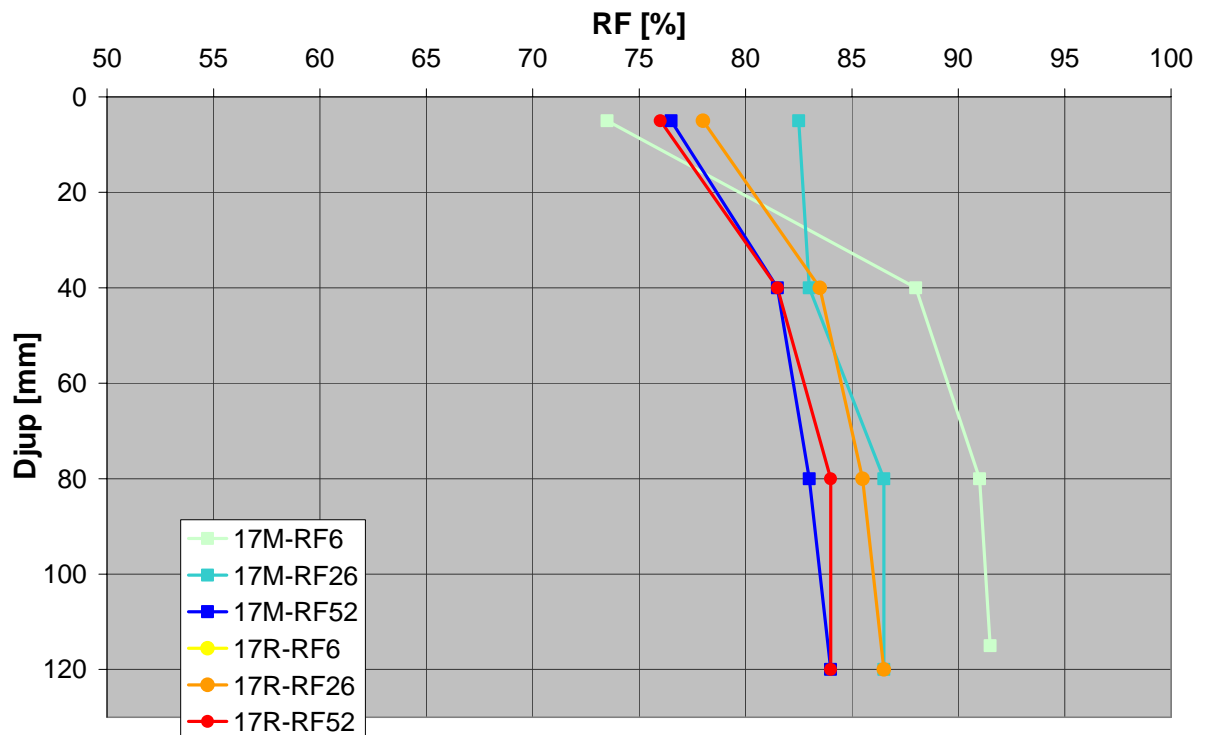
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	29,2	29,4	28,1	29,4	28,3	27,1
0	29,8	29,8	28,3	30,2	29,1	28,1
30	30,2	30,4	28,9	30,1	29,8	28,4
60	30,5	30,7	28,9	30,7	29,5	28,4
90	30,6	30,6	29,0	31,0	28,5	28,4
120	29,2	29,4	28,1	29,4	28,3	27,1



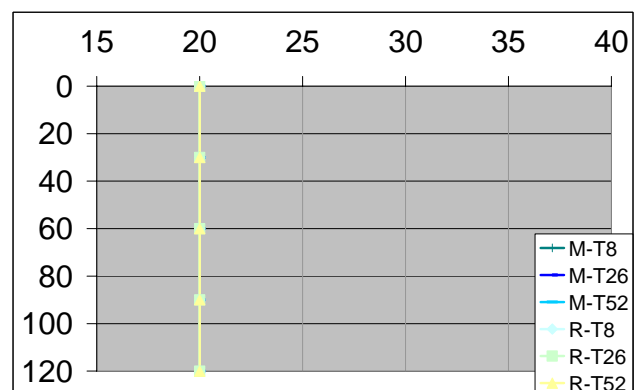
## Golvplatta 17 (40-00-120)

Betongkvalitet	0,40	vct
Värmerör	-	mm
Förseglad härdn.	28	dygn
Avjämnning	efter härdning	
Uttorkning	92	dygn
Matläggning efter	120	dygn
Golvvärme	ingen värme	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	73,5	82,5	76,5		78,0	76,0
40	88,0	83,0	81,5		83,5	81,5
80	91,0	86,5	83,0		85,5	84,0
115	91,5					
120		86,5	84,0		86,5	84,0



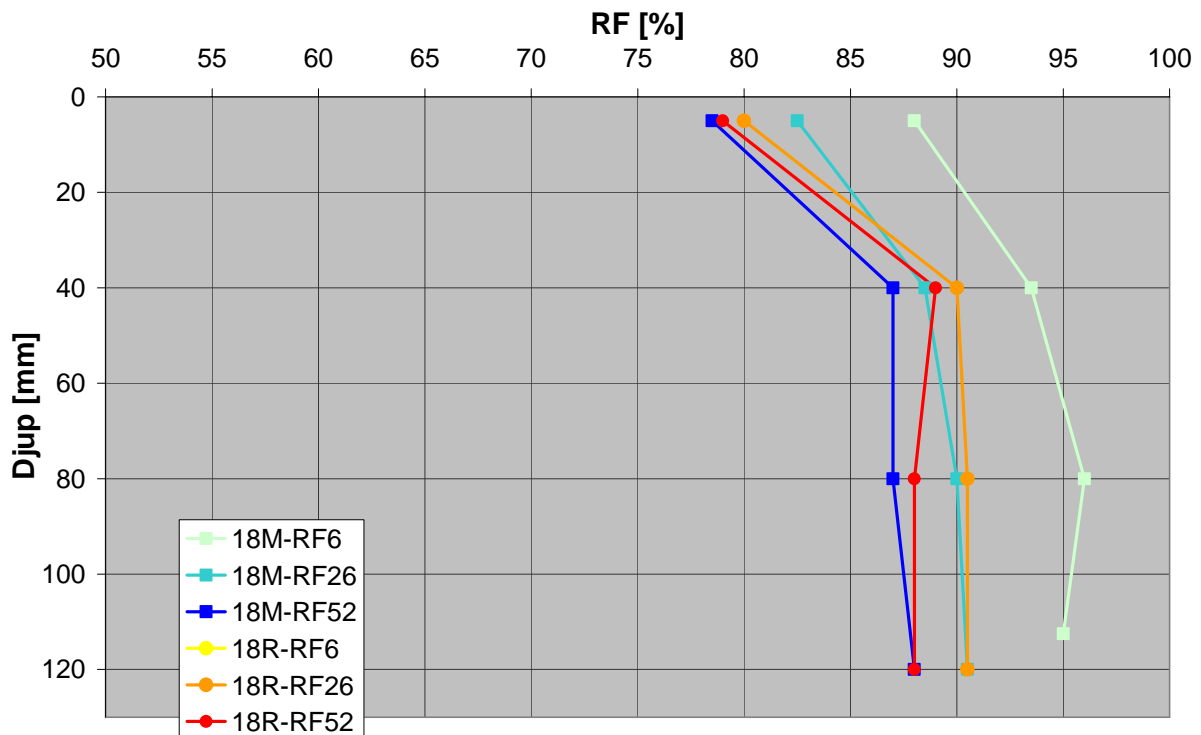
Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	20	20	20	20	20	20
30	20	20	20	20	20	20
60	20	20	20	20	20	20
90	20	20	20	20	20	20
120	20	20	20	20	20	20



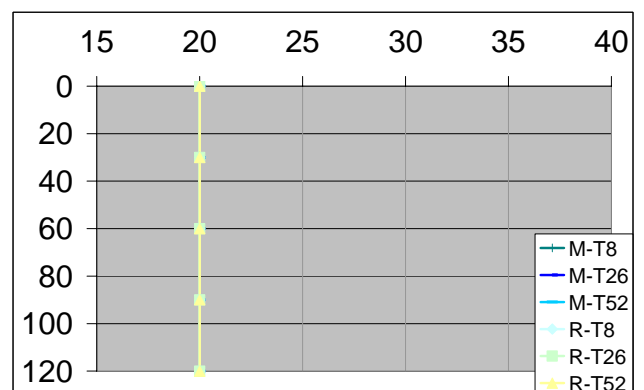
## Golvplatta 18 (60-00-120)

Betongkvalitet	0,60	vct
Värmerör	-	mm
Förseglad härdn.	28	dygn
Avjämnning	efter härdning	
Uttorkning	92	dygn
Matläggning efter	120	dygn
Golvvärme	ingen värme	

Djup (mm)	Uppmätt fuktnivå (% RF)					
	Mitt mellan rören			Invid ett rör		
	6v	26v	52v	6v	26v	52v
5	88,0	82,5	78,5		80,0	79,0
40	93,5	88,5	87,0		90,0	89,0
80	96,0	90,0	87,0		90,5	88,0
112,5	95,0					
120		90,5	88,0		90,5	88,0



Djup (mm)	Uppmätt temperatur (°C)					
	Mitt mellan rören			Mitt mellan rören		
	8v	26v	52v	8v	26v	52v
0	20	20	20	20	20	20
30	20	20	20	20	20	20
60	20	20	20	20	20	20
90	20	20	20	20	20	20
120	20	20	20	20	20	20



## Tidplan, vct-rördjup-lufthärdsn.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Vct	0,40	0,40	0,40	0,40	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,60	0,60	0,40	0,40	0,60	0,60	0,40	0,60
Rördjup	30	30	100	100	30	30	100	100	-	-	-	-	30	100	30	100	-	-
Lufthärdsn.	14	28	14	28	14	28	14	28	14	28	14	28	360	360	360	360	360	360
Gjutn.	22.9	20.10	21.4	17.11	22.9	20.10	29.4	17.11	24.8	29.6	24.8	29.6	19.1.05	17.2.05	19.1.05	17.2.05	8.3	8.3
Avj.	20.10	17.11	18.5	15.12	20.10	17.11	18.5	15.12	21.9	27.7	21.9	27.7						
Ytbl.	3.11	15.12	1.6	12.1.05	3.11	15.12	1.6	12.1.05	5.10	24.8	5.10	24.8	-	-	-	-	-	-
Mät 6 v.	4.11		3.6		4.11		3.6		6.10		6.10							
Mät 8 v.		16.12		13.1.05		16.12		13.1.05		26.8		26.8	17.3.05	14.4.05	17.3.05	14.4.05	4.5.05	4.5.05
Värm.	5.11	17.12	3.6	14.1.05	5.11	17.12	3.6	14.1.05	-	-	-	-	20.1.05	18.2.05	20.1.05	18.2.05	-	-
Mät 26 v.	22.3.05	18.4.05	20.10	17.5.05	22.3.05	18.4.05	20.10	17.5.05	23.2.05	10.1.05	23.2.05	10.1.05	29.6.05	16.8.05	29.6.05	16.8.05	16.9.05	16.9.05
Mät 52 v.	22.9.05	20.10.05	18.4.05	17.11.05	22.9.05	20.10.05	18.4.05	17.11.05	25.8.05	8.8.05	25.8.05	8.8.05	17.1.06	13.2.06	17.1.06	13.2.06	16.3.06	16.3.06

## Fuktprovtagning: 1+1 hål/tillfälle

Dec		16.12				16.12												
2005																		
Jan				13.1.05				13.1.05		10.1.05		10.1.05						
Feb									23.2.05		23.2.05							
Mars	22.3.05				22.3.05								17.3.05		17.3			
Apr		18.4.05	18.4.05			18.4.05	18.4.05							14.4.05		14.4.05		
Maj				17.5.05				17.5.05									4.5.05	4.5.05
Juni													29.6.05		29.6.05			
Aug									25.8.05	8.8.05	25.8.05	8.8.05		16.8.05		16.8.05		
Sept	22.9.05				22.9.05												16.9.05	16.9.05
Okt		20.10.05				20.10.05												
Nov				17.11.05				17.11.05										
2006																		
Jan													17.1.06		17.1.06			
Feb														13.2.06		13.2.06		
Mars																	16.3.06	16.3.06

**MATERIALEGENSKAPER FÖR VADAU**

Materiallegenskaperna för de åtta använda "materialen" i beräkningarna med VaDau: luft, tät golvbeläggning samt de sex fukttransportantagandena för betong.

```
--- ima --- Btid --- --- ts --- rtr --- avg --- tamp --- tday ---
      8      15552000      1      10      7.8      5.0      1
```

**M: 0 por% \*\*\*\* iax \*\*\*\*\* iay \*\*\*\*\* ica \*\*\*\*\* dens \*\*\*\* Luft hög  
fuktkapacitet**

```
Llg 98      0.036      0.036      1400      200
We
  0  20  40  75  85  90  98
  0  13  14  16  18  22  60
  0  13  14  16  18  22  60
Dv
  1      20      30      50      70      90      99
  25e-6  25e-6  25e-6  25e-6  25e-6  25e-6  25e-6
  25e-6  25e-6  25e-6  25e-6  25e-6  25e-6  25e-6
Kp
  22      33      44      55      77      88      99
  8.0e-30 4.5e-30 2.3e-30 7.1e-30 1.7e-30 7.0e-30 1.2e-30
  8.0e-30 4.5e-30 2.3e-30 7.1e-30 1.7e-30 7.0e-30 1.2e-30
```

**M: 1 por% \*\*\*\* iax \*\*\*\*\* iay \*\*\*\*\* ica \*\*\*\*\* dens \*\*\*\* gummimatta  
cel 40 0.07 0.07 560 50**

```
We
  0  20  40  75  85  90  98
  0  15  25  30  45  80  100
  0  15  25  30  45  80  100
Dv
  1      20      30      50      70      90      99
  2e-15 2e-15 2e-15 2e-15 2e-15 2e-15 2e-15
  2e-15 2e-15 2e-15 2e-15 2e-15 2e-15 2e-15
Kp
  22      33      44      55      78      89      99
  1e-15 2e-15 3e-15 4e-15 5e-15 6e-15 7e-15
  1e-15 2e-15 3e-15 4e-15 5e-15 6e-15 7e-15
```

**M: 2 por% \*\*\*\* iax \*\*\*\*\* iay \*\*\*\*\* ica \*\*\*\*\* dens \*\*\*\* diff 1 Betong ny  
gjuten vct 0.7**

```
070 17      1.7      1.7      950      2250
We
  30  60  80  88  92  96  99
  27  47  74  88  103  120  140
  27  47  74  88  103  120  140
Dv
  10      30      50      70      85      95      99
  0.30e-6 0.30e-6 0.30e-6 0.30e-6 0.30e-6 2.90e-7 2.90e-7 2.30e-7
  0.30e-6 0.30e-6 0.30e-6 0.30e-6 0.30e-6 2.90e-7 2.90e-7 2.30e-7
Kp
  10      30      50      70      85      95      99
  0.1e-20 0.1e-20 1.0e-19 9.9e-18 9.6e-17 2.4e-15 6.2e-15
  0.1e-20 0.1e-20 1.0e-19 9.9e-18 9.6e-17 2.4e-15 6.2e-15
```

**M: 3 por% \*\*\*\* iax \*\*\*\*\* iay \*\*\*\*\* ica \*\*\*\*\* dens \*\*\*\* diff 2 Betong ny gjuten vct 0.7**

070	17	1.7		1.7		950	2250	
We								
30	60	80	88	92	96	99		
27	47	74	88	103	120	140		
27	47	74	88	103	120	140		
Dv								
10		30		50		70	85	95 99
0.30e-6		0.30e-6		0.30e-6		0.41e-6	5.20e-7	5.40e-7 5.00e-7
0.30e-6		0.30e-6		0.30e-6		0.41e-6	5.20e-7	5.40e-7 5.00e-7
Kp								
10		30		50		70	85	95 99
0.1e-20		0.1e-20		1.0e-20		9.9e-20	7.0e-17	2.4e-15 6.2e-15
0.1e-20		0.1e-20		1.0e-20		9.9e-20	7.0e-17	2.4e-15 6.2e-15

**M: 4 por% \*\*\*\* iax \*\*\*\*\* iay \*\*\*\*\* ica \*\*\*\*\* dens \*\*\*\* diff 3 Betong ny gjuten vct 0.7**

070	17	1.7		1.7		950	2250	
We								
30	60	80	88	92	96	99		
27	47	74	88	103	120	140		
27	47	74	88	103	120	140		
Dv								
10		30		50		70	85	95 99
0.30e-6		0.30e-6		0.30e-6		0.41e-6	9.30e-7	1.20e-6 1.20e-6
0.30e-6		0.30e-6		0.30e-6		0.41e-6	9.30e-7	1.20e-6 1.20e-6
Kp								
10		30		50		70	85	95 99
0.1e-20		0.1e-20		1.0e-20		1.0e-20	2.6e-17	2.4e-15 6.2e-15
0.1e-20		0.1e-20		1.0e-20		1.0e-20	2.6e-17	2.4e-15 6.2e-15

**M: 5 por% \*\*\*\* iax \*\*\*\*\* iay \*\*\*\*\* ica \*\*\*\*\* dens \*\*\*\* diff 4 Betong ny gjuten vct 0.7**

070	17	1.7		1.7		950	2250	
We								
30	60	80	88	92	96	99		
27	47	74	88	103	120	140		
27	47	74	88	103	120	140		
Dv								
10		30		50		70	85	95 99
0.30e-6		0.30e-6		0.30e-6		0.41e-6	1.20e-6	2.30e-6 2.30e-6
0.30e-6		0.30e-6		0.30e-6		0.41e-6	1.20e-6	2.30e-6 2.30e-6
Kp								
10		30		50		70	85	95 99
0.1e-20		0.1e-20		1.0e-20		9.9e-20	9.6e-20	2.1e-15 5.9e-15
0.1e-20		0.1e-20		1.0e-20		9.9e-20	9.6e-20	2.1e-15 5.9e-15

**M: 6 por% \*\*\*\* iax \*\*\*\*\* iay \*\*\*\*\* ica \*\*\*\*\* dens \*\*\*\* diff 5 Betong ny gjuten vct 0.7**

	070	17		1.7		1.7		950		2250	
We											
	30	60	80	88	92	96	99				
	27	47	74	88	103	120	140				
	27	47	74	88	103	120	140				
Dv											
	10		30		50		70		85		95
	0.30e-6		0.30e-6		0.30e-6		0.41e-6		1.20e-6		7.40e-6
	0.30e-6		0.30e-6		0.30e-6		0.41e-6		1.20e-6		7.40e-6
Kp											
	10		30		50		70		85		95
	0.1e-20		0.1e-20		1.0e-20		1.0e-20		1.0e-20		1.5e-15
	0.1e-20		0.1e-20		1.0e-20		1.0e-20		1.0e-20		1.5e-15

**M: 7 por% \*\*\*\* iax \*\*\*\*\* iay \*\*\*\*\* ica \*\*\*\*\* dens \*\*\*\* diff tot Betong ny gjuten vct 0.7**

	070	17		1.7		1.7		950		2250	
We											
	30	60	80	88	92	96	99				
	27	47	74	88	103	120	140				
	27	47	74	88	103	120	140				
Dv											
	10		30		50		70		85		95
	0.30e-6		0.30e-6		0.30e-6		0.41e-6		1.20e-6		2.00e-5
	0.30e-6		0.30e-6		0.30e-6		0.41e-6		1.20e-6		2.00e-5
Kp											
	10		30		50		70		85		95
	0.1e-20		0.1e-20		1.0e-20		9.9e-20		9.6e-20		2.4e-20
	0.1e-20		0.1e-20		1.0e-20		9.9e-20		9.6e-20		2.4e-20