

**Uttorkning av byggfukt i betongplatta  
med ingjuten värmekabel**

September 2001

## Förord

I denna rapport beskrivs vad man bör tänka på i samband med uttorkning av betongbjälklag med värmekabel. Rapporten berör även de hjälpmedel, som finns idag för att kunna genomföra uttorkningsbedömningar av betongen, och om de kan användas när man planerar att torka ut betongen med värmekabel.

Projektet har haft stöd från SBUF - Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond. En del av arbetet i projektet, bl a fältmätningarna och delar av rapportskrivningen, har utförts i samband med genomförandet av ett examensarbete vid civilingenjörsutbildning med inriktning Väg- och vatten. En referensgrupp med representanter från NCC Teknik, NCC Bostad, NCC Maskin och Lunds tekniska högskola medverkade vid planering av projektet.

September 2001

Bengt Ström

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b>	<b>4</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>5</b>
1.1 Syfte	5
1.2 Tidigare studier och rekommendationer	5
1.3 Metodik och avgränsningar	6
<b>2 Fuktsäkra golvkonstruktioner med betong</b>	<b>7</b>
2.1 Hur mycket fukt tål golvmaterialen?	7
2.2 Uttorkning av fukt i betong – metoder	7
2.2.1 Uttorkning med varemaggat	8
2.2.2 Uttorkning med värmekabel	8
<b>3 Fukttransporter i betong</b>	<b>10</b>
3.1 Diffusion och kapillärtransport	10
3.2 Fuktomfördelning	10
3.3 Betongplatta på mark	11
<b>4 Fuktmätning</b>	<b>13</b>
4.1 Metoder vid fuktmätning	13
4.2 Rekommendationer vid fuktmätning vid golvvärme	13
<b>5 Bedömning av uttorkningstider – fuktdimensionering</b>	<b>14</b>
5.1 Bedömning av uttorkningstid med TorkaS	14
5.2 Temperaturberäkningar med HEAT2	14
5.3 Exempel på andra beräkningsprogram – KFX och VADAU	15
<b>6 Fältmätningar</b>	<b>16</b>
6.1 Allmänt	16
6.2 Referensobjektets konstruktion	16
6.3 Bedömning av uttorkningstider och temperaturer i referensobjektet	17
6.4 Mätningar	18
6.5 Mätresultat	19
6.6 Utvärdering av mätresultat	22
6.7 Praktiska erfarenheter med ingjutna värmekablar	23
<b>7 Slutsatser</b>	<b>25</b>
<b>8 Referenser</b>	<b>26</b>

## Sammanfattning

Rapporten behandlar uttorkning av byggfukt i betong med hjälp av ingjutna värmekablar. Dagens produktionstider är normalt kortare än uttorkningstiden för byggfukt i traditionell betong vilket innebär att åtgärder måste vidtas. Exempel på åtgärd är att klimatet och uttorkningstiden styrs med hjälp av värmekablar ingjutna i betongen. En fördel med denna metod är att arbetsmiljön förbättras under byggtiden eftersom man slipper ljud från torkaggregat. Andra fördelar är att temperaturen kan styras under härdningsskedet och att produktionen inte störs av utplacerade torkaggregat.

Målsättningen med projektet var att utvärdera om dagens dimensioneringshjälpmedel för att bedöma uttorkningstiden för betong även kan användas vid värmekablar och att med hjälp av fältmätningar öka kunskapen om uttorkningsmetoden.

Slutsatsen som kan dras i projektet är att uttorkningsmetoden med ingjutna värmekablar är bra uttorkningsmetod. Svårigheterna med metoden är det idag inte finns lämpliga bedömningshjälpmedel som kan användas för att uppskatta uttorkningstiden. De teoretiska bedömningarna försvåras av att det är temperaturgradienter i betongen. Vid val av mätmetod i projektet var kunskapen ej etablerad om att den mest lämpliga mätmetoden är uttaget prov vid fuktmätning i betonggolv med värmekablar. Den valda mätmetoden med kvarsittande givare visade sig ge osäkra mätresultat.

# 1 Inledning

Idag misstänks fukt i betongbjälklag ofta vara orsaken till att brukarna klagar på inomhusmiljön. Risken för att material skadas ökar vid höga fuktillstånd i material i kontakt med betong. Skadorna undviks redan vid projekteringen om konstruktionen fuktdimensioneras och om byggfukten får torka ut.

Dagens produktionstider är normalt kortare än uttorkningstiden för byggfukt i traditionell betong vilket innebär att åtgärder måste vidtas. Exempel på åtgärder är att välja en betong med lågt vattenbindemedeltal och att styra uttorkningsklimatet med hjälp av värmefläktar eller avfuktare. Klimatet och uttorkningstiden kan även styras med värmekablar ingjutna i betongen. En fördel med denna metod är att arbetsmiljön förbättras under byggtiden eftersom man slipper ljud från torkaggregat. Andra fördelar är att temperaturen kan styras under härdningsskedet och att produktionen inte störs av utplacerade torkaggregat.

För att kunna genomföra uttorkningsbedömningar av betongbjälklag med ingjutna värmekablar finns det ett behov av att utvärdera dagens dimensioneringshjälpmedel. Information saknas även om lämpliga mätdjup vid fuktmätning i betongplatta med värmekabel.

## 1.1 Syfte

Projektet har syftat till att öka kunskapen om uttorkning av byggfukt i traditionell betong med hjälp av värmekablar. Att projektet initierades beror på att NCC har goda erfarenheter av uttorkningsmetoden vid produktion av bottenplattor till småhus. Det fanns dock ett behov av att öka kunskapen om uttorkningsbedömningar, mätmetoder och mätförfarandet.

Om möjligt, skulle projektet ge information om lämplig placering, temperatur och reglering av värmekablarna. Utifrån dessa uppgifter, tillsammans med uttorkningsbedömningar, kan uttorkningsprocessen planeras på ett bra sätt.

## 1.2 Tidigare studier och rekommendationer

I ett examensarbete genomfört vid institutionen för Byggnader och Installationer på KTH utfördes ett examensarbete (Gränne 1996) som behandlade metoder för kortare uttorkningstid av betongbjälklag. I arbetet utfördes uttorkningsmätningar av provkroppar med elslingor placerade i olika lägen i provkroppen samt ovanpå betongen med ovanförliggande isolering. Enligt slutsatserna i rapporten var uttorkningstiden kort när ovanliggande isolering kombinerades med elslingor på betongen. Uttorkningsberäkningar utfördes även med hjälp finit differensmodell där beräkningen inleddes med att temperaturen beräknades och därefter beräknades fukttinnehållet över tiden. Vid jämförelse mellan beräknade och verkliga uttorkningskurvor var överensstämmelsen god.

Byggbranschen har gemensamt tagit fram en manual (Rapp 1999) avsedd att användas vid mätning av relativ fuktighet i nyproducerad betong. Rekommendationen enligt denna skrift är att fuktmätningen skall utföras med uttaget prov på flera djup vid mätning i en bottenplatta eller bjälklag med ingjutna värmekablar. Provtagningen ska även utföras mitt emellan värmekällorna, där relativa fuktigheten troligtvis är högst.

Ett examensarbete (Mattsson 1991) har genomförts under hösten 2000 vid Institutionen för byggnadsmaterial på CTH. Målsättningen med arbetet vara att skapa allmänförståelse för de processer som förekommer i betongplattor med golvvärmsystem genom att jämföra mätningar i försöksplattor med resultat från datorberäkningar. I målsättningen ingick även kunna ge

information om lämpliga mätdjup och överslagsvärden på torktider avseende vattencementtal, plattjocklek och betongtemperatur. Slutsatsen i projektet vara att beräkningar utförda enligt dagens vedertagna fuktmeکانik inte stämmer överens med uppmätta värden då det finns en temperaturgradient över materialen.

Flera artiklar, som behandlar fukt- och energiförhållanden vid golvvärme vid platta på mark har publicerats under senare år. I en av de senare artiklarna (Roots och Hagentoft 2000) beskrivs fuktförhållanden och värmeförluster vid golvvärme. Enligt artikeln ska golvvärmens förmåga att flytta fukt beaktas vid renovering av exempelvis källargolv med tunn grundisolering och när golvvärme slås av på våren. På vintern har marken under plattan värmts upp och när värmen slås av kan omvänd fukttransport uppträda vilket innebär att fukt transporteras från marken till plattan. Problemet kan reduceras genom att isolera grunden väl, det vill säga reducera uppvärmningen av marken.

### **1.3 Metodik och avgränsningar**

I det aktuella projektet har fältmätningar utförts under uppförandet i ett småhusområde. I byggprojektet utfördes uttorkning dels med ingjutna värmekablar i betongen, dels på traditionellt vis med uttorkningsaggregat. Förutom att mätningarna ledde till ökad förståelse erhöles även andra erfarenheter av uttorkningsmetoden. I rapporten mätningarna och erfarenheterna ställs samman.

I projektet har de hjälpmedel som finns idag, för att bedöma uttorkningstiden hos betong med ingjutna värmekablar utvärderats. Frågorna vid utvärderingen var om hjälpmedlena skulle kunna användas för att bestämma mätdjup, lämpliga kabelplaceringar och fuktomfördelningen efter mattläggning.

I projektet ingick ej att undersöka fuktförhållanden, efter uppförandet, vid golvvärme.

## 2 Fuktsäkra golvkonstruktioner med betong

### 2.1 Hur mycket fukt tål golvmaterialen?

Högt fuktillstånd i material i kontakt med betong innebär att risken för att materialen skadas ökar. När exempelvis plastmattor limmas på ett underlag av fuktig alkalisk betong kan både limmet och mjukgöraren i mattan sönderdelas och sedan emittera nedbrytningsprodukterna till rumsluften. Innan golvläggning måste betongen torka ut tillräckligt, så att fukten i betongen inte påverkar golvmaterialen.

I HusAMA 98 finns det utförandeföreskrifter för olika beläggningar. Där anges högsta tillåtna RF-nivå, vid 20°C, vid applicering av beläggningarna. Materialtillverkaren skall även lämna uppgifter om RF-krav för sina produkter enligt HusAMA.

Branschorganisationer har tagit fram rekommendationer för "sina" produkter. Golvbranschen rekommenderar golvlim vid limning på tre underlag; betong med vbt 0,66, betong med vbt 0,38 och betong med vbt 0,38+avjämningsmassa. Enligt Byggkeramikbranschen är rekommendationen för RF i betonggolvet 90% vid applicering av tätskiktsmassa.

Ett alternativ till att torka ut betongbjälklaget till en viss RF-nivå är att byta ut golvmaterialen till material med högre RF-krav. Exempelvis kan det vara billigare byta ut en plastmatta till klinker istället för att torka ut till den lägre RF-nivån.

Enligt HusAMA 98 får den relativa fuktigheten inte överstiga:

- 85 % vid applicering av tätskiktsmassa
- 90 % vid limning samt vid läggning av textilmattor av naturmaterial utan belagd baksida
- 85 % vid beläggning med korkplattor
- 90 % vid läggning av linoleum
- 85 % vid beläggning av matta eller plattor av gummi
- 90 % för platsmattor och -plattor med mer än 50% fyllmedel
- 85 % för platsmattor och -plattor med mer än 50% fyllmedel

### 2.2 Uttorkning av fukt i betong – metoder

Dagens produktionstider är normalt kortare än den erforderliga uttorkningstiden för traditionell betong. Detta medför att åtgärder måste vidtas för att förkorta uttorkningstiderna. För att lyckas med detta finns flera åtgärder, däribland att välja en betong med lägre vct, ändra konstruktionen eller att styra torkklimatet på något sätt.

Det finns olika sätt att styra torkklimatet. Exempel på metoder är ingjutna elslingor eller mer traditionellt med hjälp av tork- och värmeaggregat, avfuktare eller lufttransportörer. Utvärderingar av några torkmetoder har genomförts i ett projekt inom FoU-Väst (Almqvist och Lindvall 1997). De metoder som ingick i studien var avfuktning, vakuumsugning, ventilation, ventilation och värme, direkt värmning samt byggfuktfri betong. Ett resultat i projektet var att checklistor avsedda för entreprenörer togs fram. Enligt dessa listor skall entreprenören bl a bedöma hur byggtorkningen bör kontrolleras och styras samt kostnad/effekt för olika torkmetoder.

I referensobjektet har värmeaggregat och ingjutna elslingor använts.

### 2.2.1 Uttorkning med värmeaggregat

Värmeaggregat är en av de traditionella uttorkningsmetoderna. En stor fläkt blåser varm eller kall luft i olika riktningar. Den placeras med fördel på en öppen plats i rummet eller våningen så att luften kan cirkulera runt på så stor yta som möjligt. Värmen fördelas då jämnt över byggvolymen och torkar betongen och luften blir renare och därmed blir även arbetsmiljön bättre. Värmeaggregatet ansluts till undercentralen eller en mobil panncentral.



**Figur 2.1** Värmeaggregat Aerco 4

Nackdelar med denna metod är att aggregatet tar ganska stor plats och måste flyttas runt. På arbetsplatsen kan det även upplevas som störande att arbeta med fläkten blåsande och detta brukar resultera i att den stängs av under dagen och torkeffekten blir ojämn och minskar. Metoden är dock enkel och ekonomisk.

### 2.2.2 Uttorkning med värmekabel

Den ingjutna värmekabeln förhindrar att betongen ska frysa och påskyndar härdningen. Den möjliggör också formrivning efter tre dygn även vid sträng kyla. Värmekablarna kan återinkopplas i ett senare skede för effektiv uttorkning av stommen samt uppvärmning under byggtiden. Målningsarbeten kan påbörjas tidigare än vid andra uppvärmningsmetoder. Investeringen är liten och har en mycket låg driftskostnad. Befintliga byggplatscentraler kan användas.

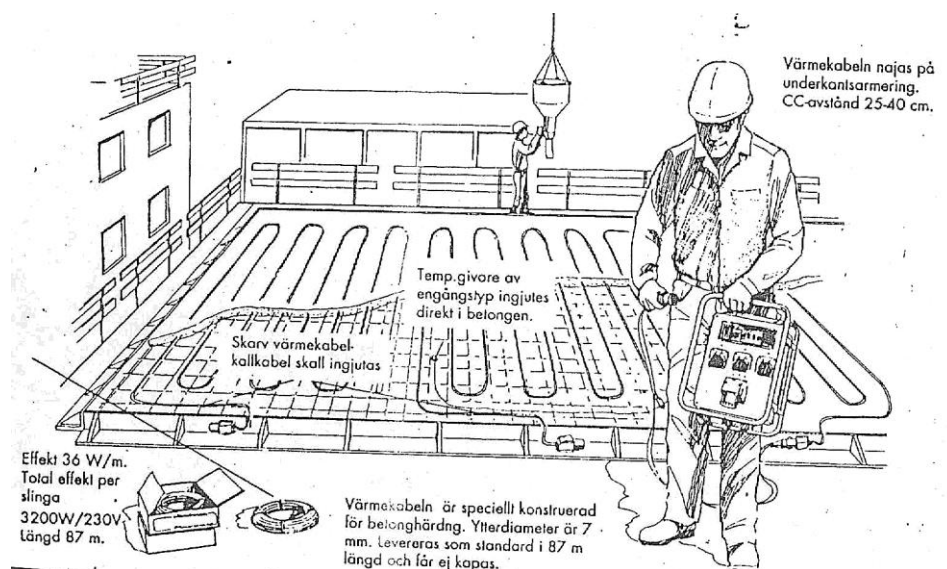
Före montering bestäms behovet av yteffekt. Leverantören av värmekabeln uppger storleken på formytan som täcks av varje värmeslinga samt c/c.

Kabeln rullas ut och läggs på plats och därefter näjas den fast på underkantsarmeringen med eltejp eller plastöverdragen najtråd. Kabeln får inte ha kontakt med isolermaterial som cellplast, mineralull eller liknande.

Kablarna ansluts till en reglerbox. Den inkommande spänningen kontrolleras via tre signallampor. Önskad temperatur ställs in och lysdioderna tänds och indikerar att ström går igenom värmekablarna. Därefter slås strömmen av och slås sedan på först efter gjutning igen. En engångsgivare för temperaturen gjuts in direkt i betongen och ansluts till reglerboxen. Därefter låter man värmen vara på det antal dagar härdningen tar. Värmen kan återinkopplas



och användas för uttorkning i ett senare skede. Vid slutlig demontering klipps bara kallkablarna vid intagsdonet av vid betonglivet.



**Figur 2.2** Montering av värmekabel enligt produktblad från kabelleverantör.

## 3 Fukttransporter i betong

### 3.1 Diffusion och kapillärtransport

Fukt transporteras i betong i ångfas och i vätskefas. Ren diffusion kan beskrivas med hjälp av Ficks lag med ånghalten  $c$  som potential.

$$q_m = -\delta * \frac{\partial c}{\partial x} \quad \text{där}$$

$$q_m = \text{fuktflöde}$$

$$\delta = \text{ånggenomsläpplighet}$$

$$c = \text{ånghalt}$$

Fukttransport i vätskefas kan beskrivas med Darcys lag med porvattentrycket  $P$  som potential.

$$q_m = -\frac{k_p}{\eta} * \frac{\partial P}{\partial x} \quad \text{där}$$

$$q_m = \text{fuktflöde}$$

$$k_p = \text{vätskepermeabilitet}$$

$$\eta = \text{viskositet}$$

$$P = \text{porvattentryck}$$

Eftersom det är svårt att mäta vattentryck i hårdnad betong brukar man ange vatteninnehållet som potential. Transport koefficienten,  $D_w$ , kallas diffusivitet. I cementbaserade material sker fukttransporten både genom diffusion och kapillär transport. En ekvation som beskriver det totala flödet är

$$q_m = -\delta * \frac{\partial c}{\partial x} - D_w \frac{\partial W}{\partial x} \quad \text{där}$$

$$W = \text{fukthalt}$$

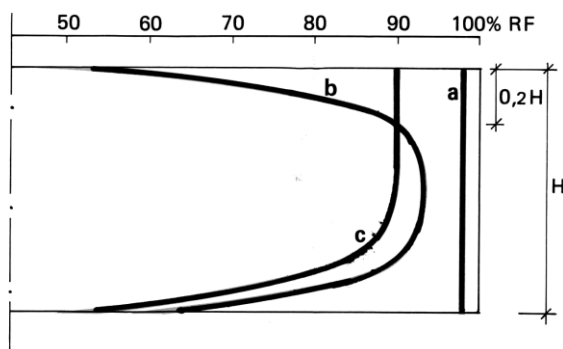
$$D_w = \text{diffusivitet}$$

Vid isoterma förhållanden kan de två transportsätten sättas samman till ett totalt flöde, medan vid temperaturgradienter måste diffusion och kapillärtransport behandlas separat. När betongen värms upp med värmekablar kan alltså fukten transporteras genom diffusion i en riktning och genom kapillär transport i en annan riktning. De motsatta transportriktningarna innebär svårigheter vid beräkningar av fuktförhållanden i betongen.

### 3.2 Fuktomfördelning

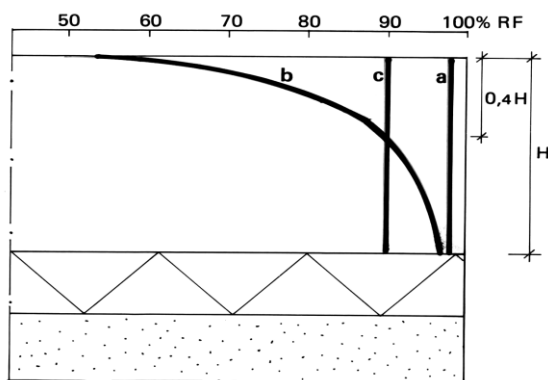
Vid uttorkning av en betongplatta utan ingjuten värmekabel sker uttorkningen först vid ytan, medan det fortfarande är ett högt fuktillstånd i konstruktionens mitt. När den täta golvbeläggningen sedan läggs på sker en omfördelning och utjämning av fukten i betongen. Fuktnivån på ett visst "ekvivalent djup" från ytan motsvarar den fuktnivå som kommer att uppnås i ytan efter golvläggning. I princip är det ekvivalenta djupet beroende av golvmaterialets täthet. Det vanligaste fallet, det som används för att bestämma mätdjupet vid fuktmätning dvs det ekvivalenta djupet, fås vid helt täta golvmaterial. Det ekvivalenta djupet är olika beroende på om det råder enkelsidig eller dubbelsidig uttorkning.

Dubbelsidig uttorkning gäller för mellanbjälklag och väggar där uttorkningen kan ske åt två håll. Det ekvivalenta djupet vid fuktmetning sätts till  $d = 0,2 * H$ , där  $H$  är plattans tjocklek. Fuktomfördelningen åskådliggörs i figur x.x.



**Figur 3.1** Dubbelsidig uttorkning (Hedenblad 1995)

Enkelsidig uttorkning gäller främst platta på mark där uttorkningen främst sker åt ett håll samt kvarsittande plåtform. Det ekvivalenta djupet vid enkelsidig uttorkning sätts till  $d = 0,4 * H$ , där  $H$  är plattans tjocklek. Fuktomfördelningen framgår av figur x.x.



**Figur 3.2** Enkelsidig uttorkning (Hedenblad 1995)

Vid uttorkning med hjälp av värmekabel sker uttorkningen uppåt samtidigt som det ser en fukttransport från området kring kablarna till mitt emellan kablarna. Eftermattläggning kommer fukten att omfördelas i både horisontal- och vertikalled.

### 3.3 Betongplatta på mark

Den vanligaste konstruktionen vid platta på mark är idag betongplatta med underliggande värmeisolering och ett kapillärbrytande och dränerande skikt. Värmeisolering består av mineralull eller cellplast. Vid fuktdimensionering ska bedömningar och beräkningar genomföras. Fuktpåverkan som hänsyn ska ta till vid dimensionering av en platta på mark är:

- Nederbörd
- Markvatten i vätskefas
- Markvatten i ångfas
- Luftfuktighet utomhus
- Luftfuktighet inomhus
- Byggfukt
- Vattenläckage

Denna dimensionering beskrivs utförligt i en skrift utgiven av Byggforskningsrådet (Harderup 1993).

När uttorkningen sker med hjälp en värmekabel i en betongplatta på mark ingår, vid en fuktdimensionering, att bedöma uttorkningstiden för betongen samt beräkna hur temperaturförändringarna i grunden påverkar fukttransporten efter mattläggning.

## 4 Fuktmätning

### 4.1 Metoder för fuktmätning

Ett viktig moment vid fuktsäkert byggande är att fuktmätning utförs i betong före golvläggning för att säkerställa att betongen är tillräckligt uttorkat. Byggbranschen har gemensamt tagit fram en manual (Rapp 1999) avsedd att användas vid mätning av RF i nyproducerad betong. Syftet med manualen är att säkerställa att fuktillståndet mäts, dokumenteras och rapporteras på ett enhetligt sätt. Dessutom har branschen genom rådet för byggkompetens, RBK, utformat regler för auktoriserad fuktkontrollant av betongkonstruktioner.

Idag, är följande mätmetoder godkända:

- RF-bestämning i borrhål med kvarsittande givare (Humi-Guard)
- RF-bestämning i borrhål med kapacitiv givare (Vaisala)
- RF-bestämning i laboratorium med dagpunktsgivare (Protimeter) eller kapacitiv givare (Vaisala).

### 4.2 Rekommendationer vid fuktmätning vid golvvärme

Rekommendationer angående fuktmätning enligt byggbranschens manual (Rapp 1999) i en bottenplatta eller bjälklag med ingjutna värmerör eller kablar ska mätningen utföras med uttaget prov och en fuktprofil genom konstruktionen upprättas. Detta gäller förutsatt att golvvärmen används för att torka ut konstruktionen och är i bruk under den tid då fuktmätningarna utförs. Anledningen till detta är att fuktprofilen får ett annat utseende än om man inte har golvvärme. Förutom en variation i RF i höjddled så får man en variation i sidled i konstruktionen med lägre RF närmast värmekällan än mitt emellan två slingor. Eftersom temperaturen blir högre vid slingorna än mellan dem. Fuktprofilens utseende beror också på hur tätt slingorna ligger samt på vilken nivå i plattan de är placerade.

En annan anledning att välja uttaget prov är att golvvärmen ofta styrs av en termostat som slår av och på vid temperaturändringar under dygnet och detta gör det omöjligt att mäta RF på plats. Felbidraget på grund av temperaturvariationer blir för stort och risken för kondensutfällning på givaren blir mycket stor.

Baserat på ovanstående resonemang måste uttorkningen analyseras från fall till fall eftersom de principer som används normalt med ekvivalent mätdjup och fuktomfördelning inte är direkt tillämpbara när golvvärme används.

Provtagningen ska (Rapp 1999) utföras mitt emellan värmeslingorna där man troligtvis har det högsta RF-värdet. Det är därför viktigt att slingorna märks ut ordentligt före gjutning så att inga missöden sker vid provtagning och värmeslingorna förstörs.

## 5 Bedömning av uttorkningstider – fuktdimensionering

Uttorkningsbedömningar kan utföras på fler sätt. Idag utförs dessa bedömningar ofta antingen med hjälp av SBUF's "Lathund för betongtorkning" eller med datorprogrammet TorkaS.

### 5.1 Bedömning av uttorkningstider med TorkaS

I det här projektet har TorkaS använts för att få en uppfattning om uttorkningen i ett referensobjekt. Programmet är dock inte avsett att användas vid konstruktioner med ingjuten värmekabel. Programmet har utvecklats vid institutionen för byggnadsteknik vid Lunds tekniska högskola med stöd från SBUF.

För att göra uttorkningsbedömningar med TorkaS behövs uppgifter om klimatet utomhus, konstruktionen, betongens vct/vbt, uttorkningsklimat, när huset är tätt och när uttorkningen startar. Programmet är baserat på fysikaliska formler och sedan verifierade mot ett stort antal laboriemätningar. Beräkningarna utförs med hjälp av väderdata, inklusive regndata, från SMHI. Programmet kan användas för bedömning av uttorkningstiden hos två typer av betongkonstruktioner; platta på mark och mellanbjälklag.

För att programmet ska fungera har det vissa begränsningar:

- Betongtjockleken ska vara 10 - 30 cm.
- vct ska vara 0.35 - 0.80.
- Då vct är 0.35 och 0.50 kan även beräkningar genomföras för betong med 5% silikastoft.
- Maximal torktemperatur är 30°C.
- Att tork-RF (ytterklimatet) ligger i intervallet 35-99% RF.

Resultatet av beräkningarna redovisas dels som RF på det ekvivalenta djupet som funktion av tiden, dels som RF-fördelningen i betongen som funktion av tiden.

### 5.2 Temperaturberäkningar med HEAT2

Programmet HEAT2 har använts i projektet för att beräkna temperaturfördelningen i betongplattor, både med och utan värmekabel. Programmet har utvecklats av Lund-Gothenburg Group for Computational Building Physics.

I HEAT2 utförs två- dimensionella transienta och statiska värmetransportberäkningar. Användaren ritat upp en modell och anger geometri, materialegenskaper, randvillkor och begynnelsestemperaturer. Resultatet redovisas grafiskt i färg med eller utan isotermer. För fuktberäkningar måste HEAT2 kompletteras med fuktberäkningsprogram, eftersom endast värmetransport beräknas. Programmet kan exempelvis användas till följande:

- Analys av köldbryggor.
- Beräkning av u-värden för en byggnads olika delar.
- Uppskattning av ytemperaturer.
- Beräkning av värmeförluster till marken från ett hus.
- Optimering av lämplig isolering.
- Analys av golvvärmesystem

### 5.3 Exempel på andra beräkningsprogram- KFX och VADAU

Studier av endimensionella fukttransporter kan genomföras med hjälp av programmet KFX. Programmet har utvecklats vid institutionen för Byggnadsmaterial på Chalmers tekniska högskola och det är ett excel-baserat program som transient beräknar endimensionell diffusion genom byggnadsmaterial. Ingångsdata är bl a materialegenskaper, temperatur- och RF-variationer. Resultatet redovisas som RF och fuktinnehåll transient i materialen. KFX har ej använts i detta projekt eftersom programmet utför endimensionella beräkningar.

Programmet VADAU har ej använts i projektet. Det har däremot använts i ett examensarbete (Mattsson 2001) som genomfördes parallellt med detta arbete. VADAU är ett dos-baserat program som transient beräknar tvådimensionella fukt- och värmetransporter. Programmet har utvecklats vid institutionen för Byggnadsmaterial på Chalmers tekniska högskola. När det finns värmekällor i konstruktionen är det en fördel att kunna utföra beräkningarna med program som utför fukt- och värmeberäkningar tvådimensionellt. Svårigheterna vid beräkningar i betong med värmekällor är att fukttransporten sker både genom diffusion och kapillärt.

## 6 Fältmätningar

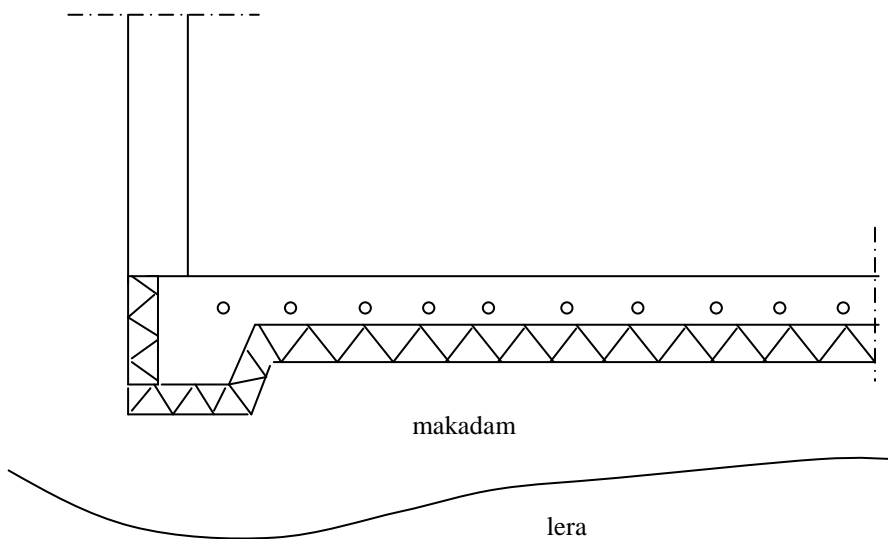
### 6.1 Allmänt

Referensobjektet är ett parhus som ingår i utbyggnaden av bostadsområdet Trädgårdsstaden Norra Vega i Skälby, Järfälla utanför Stockholm. NCC Bostad byggde 33 bostadslägenheter i par- och kedjehus samt små flerbostadsvillor. Lägenhetsstorlekarna varierar mellan 2-5 rum och kök och inflyttningen skedde hösten 1999.

Referensobjektet är ett parhusen med fem rum och kök i två plan. På övervåningen finns sovrum, allrum och badrum. Bottenvåningen består av kök, vardagsrum, sovrum, badrum och hall. Uttorkningen har skett med två metoder i parhuset; värmekabel i det ena huset, Hus 16, och värmebläktar i det andra huset, Hus 17.

### 6.2 Referensobjektets konstruktion

Betongplattan ligger på makadam ovanpå lerbotten. Plattans undersida är isolerad med ett 100 mm tjock cellplastskiva. Betongplattan är gjuten i hållfasthetsklass K30 (vct 0,67) betong med voter i självtorkande K40 (vct 0,34) betong. Hus 16 har ingjutna värmekablar med diametern 7 mm och c/c 280 mm. Värmekablarna är placerade 115 mm från överkant av den 140 mm tjocka betongplattan. Även i hus 17 finns en ingjuten kabel men denna kommer inte att vara i bruk annat än om det visar sig att uttorkningen inte blir tillräcklig.



**Figur 6.1** Skiss av bottenplattan i referensobjektet

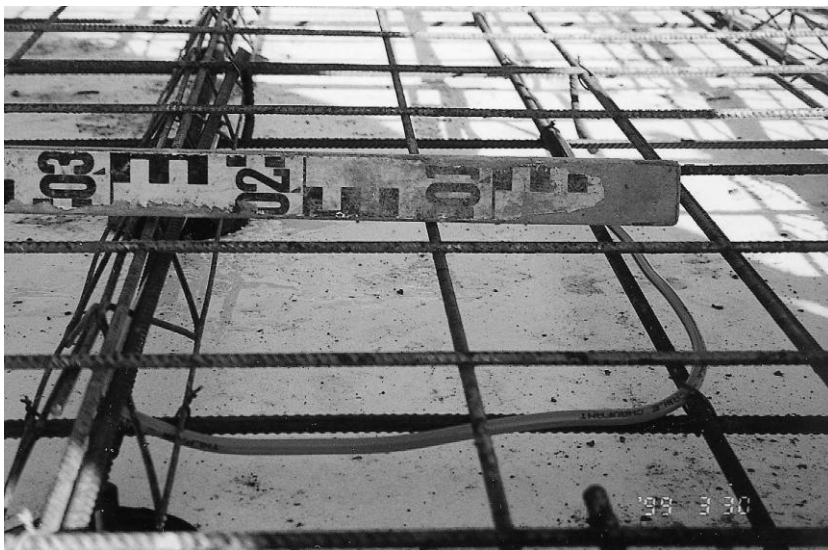
Golvmaterialen i badrummet är plastmatta med uppvikta sockel. I vardagsrummet är det eklamell placerad ovanpå en platsfolie. Övriga betongytor bekläds med linoleummatta.

NCCs eget krav i det aktuella referensobjektet är att betongen ska torkas ut till 85% RF, oavsett golvbeläggning.

De ingjutna värmekablarna ligger 115 mm från den 140 mm tjocka betongplattans överkant fastnåjad i armeringen med c/c 280 mm. Kabeldiametern är ca 7 mm och varje slinga är 42 m lång och kan skarvas. Tre slingor användes i referensobjektet. Värmekabelns effekt är 1400 W/230 V.



Nedan visas en bild på slingornas placering på armeringen.

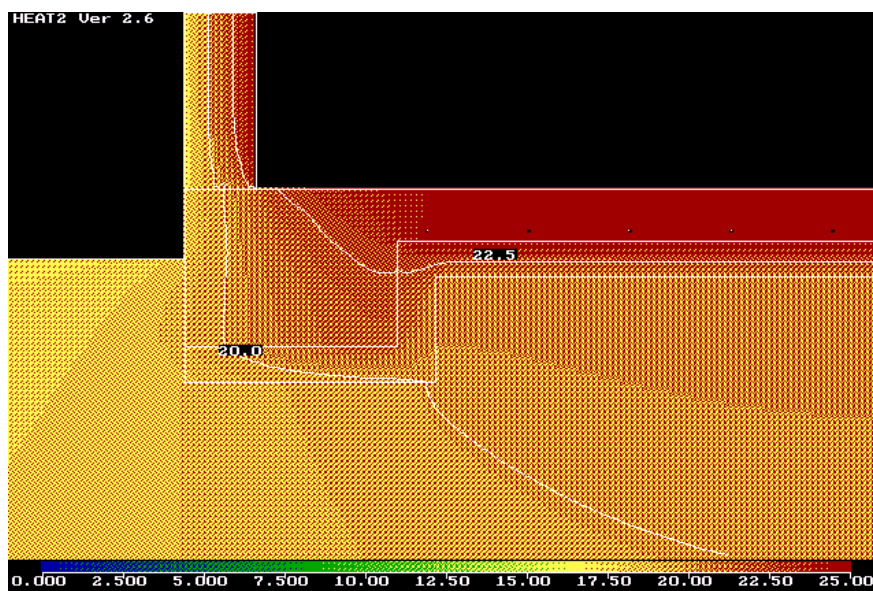


Figur 6.2 Värmekablarnas placering på armeringen

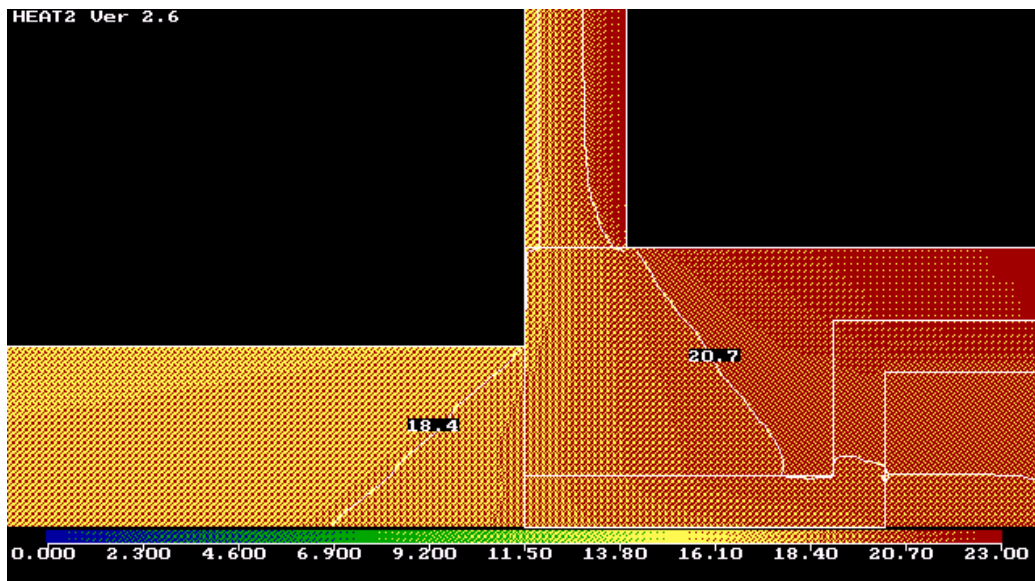
### 6.3 Bedömning av uttorkningstider och temperaturer i referensobjektet

Det visade sig ej vara lämpligt att bedöma uttorkningstiden med TorkaS eftersom temperaturen är högre i betongplattan jämfört med den omgivande luften.

Värmeberäkningar utförde med hjälp av HEAT2 redovisas i figur 6.3-6.4. Med hjälp av beräkningarna kan man bl a studera temperaturförhållanden.



Figur 6.3 Beräkning med HEAT2 i Hus 16 (värmekabel).



**Figur 6.4** Beräkning med HEAT2 i Hus 17 (värmeaggregat).

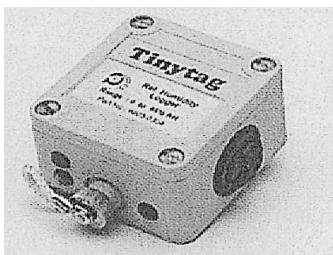
## 6.4 Mätningar

Mätningar har utförts i referensobjektet i luften med loggrar som registrerat temperatur och relativ fuktighet. I betongplattan här mätningar av fukttinnehållet utförts med kvarstannande givare och med uttaget prov. Mätningar har utförts på bottenvåningen i parhuset, i hus 16 och 17. I hus 16 gjöts värmekablar in och i hus 17 användes en mer traditionell uttorkningsmetod med värmefläcktar.

Temperaturmätning i plattan samt fukt- och temperaturmätning, såväl inomhus som utomhus, har utförts med Tinyloggrar, TinytagIP68, från Intab. I referensobjektet utfördes mätningarna en gång i halvtimmen med sex olika loggrar utplacerade enligt följande:

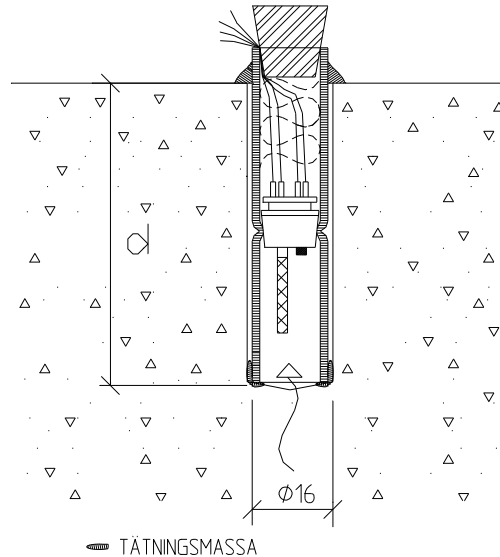
- Två som mätte temperaturen i betongplattan (en i varje hus). Tinytag Temp mäter inom intervallet  $-40^{\circ}\text{C}$  -  $+125^{\circ}\text{C}$ .
- En som mätte temperaturen utomhus. Tinytag Temp mäter inom intervallet  $-40^{\circ}\text{C}$  -  $+125^{\circ}\text{C}$ .
- En som mätte luftfuktigheten utomhus. Tinytag RH+ mäter i intervallet 0 -100% RH.
- Två som mätt både temperatur och luftfuktighet inomhus (en i var hus). Tinytag Plus har intervallen  $-30^{\circ}\text{C}$  - $+50^{\circ}\text{C}$  och 0 - 100% RH

Utvärderingarna av mätningarna har utförts med Easyview , ett Windowsbaserade program från Intad.



**Figur 6.5** Tinytag-logger, Intab's produktblad

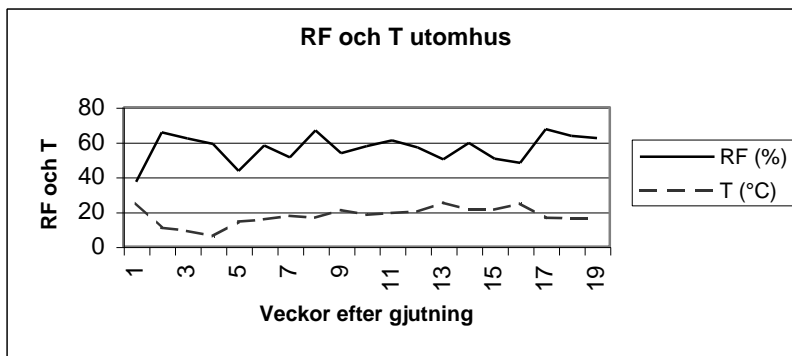
Relativ fuktighet och temperatur i betongplattan mäts med kvarsittande givare av fabrikat Humi-Guard. Humi-Guard består av ett mät rör med en elektrolytindränkt givare av fiberväv som placeras i mät röret. Vid ändringar i omgivningens fuktighet ändras elektrolytens förmåga att leda elektrisk ström, dvs elektrolytens konduktans som mäts i enheten Siemens. Mätningen med Humi-Guards kvarsittande givare har utförts av NCC Maskin som sedan räknat om värdena till relativ fuktighet vid +20°C.



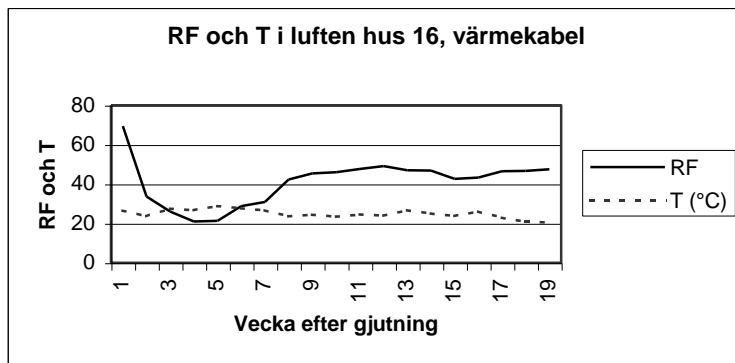
Figur 6.6 Humi-Guard givare monterad i mät rör

## 6.5 Mätresultat

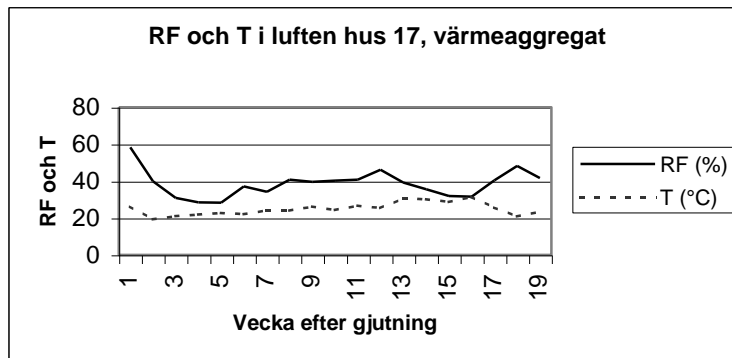
RF- och temperaturvariationerna i luften utomhus och inomhus samt temperaturändringar i plattan redovisas i figur 6.7– figur 6.11. I diagrammen redovisas medelvärde per vecka för temperatur respektive RF.



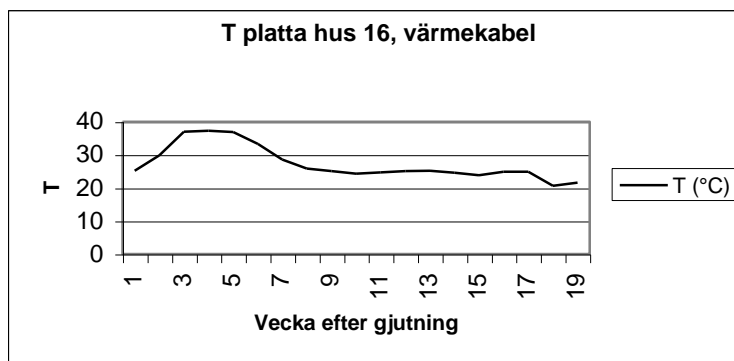
Figur 6.7 Relativ fuktighet och temperatur utomhus.



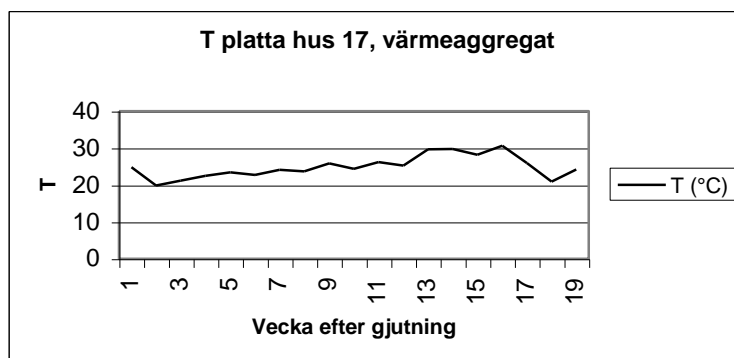
Figur 6.8 Hus 16, temperatur i luften



Figur 6.9 Hus 17, temperatur i luften

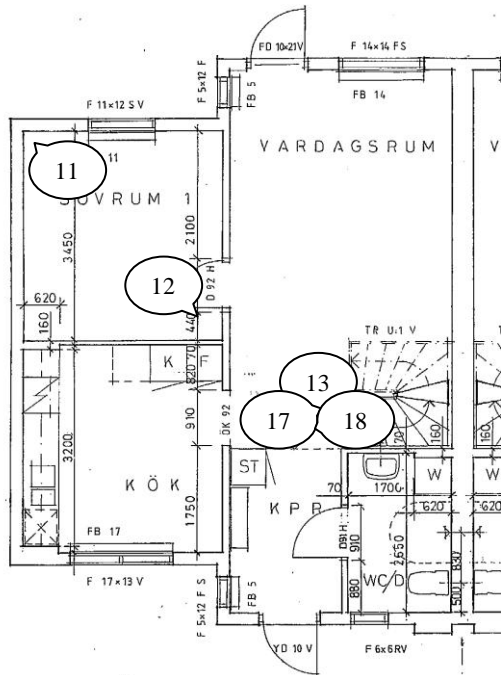


Figur 6.10 Hus 16, temperatur i betongplattan



Figur 6.11 Hus 17, temperatur i betongplattan

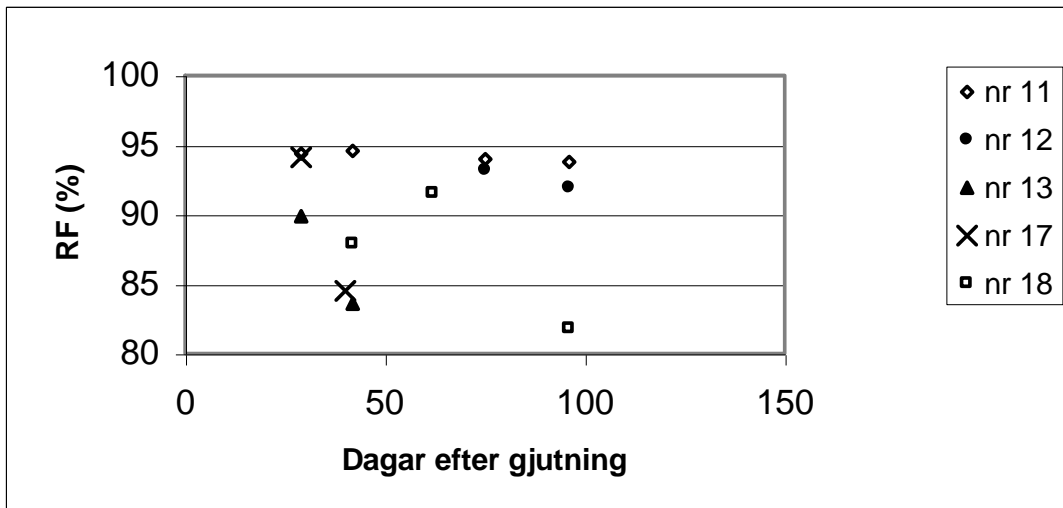
En sammanställning av mätpunkter och mätresultat i hus 16 och 17 redovisas i figur 6.12 –6.17. Mät djup var 20%, 40% respektive 60% av plattans tjocklek.



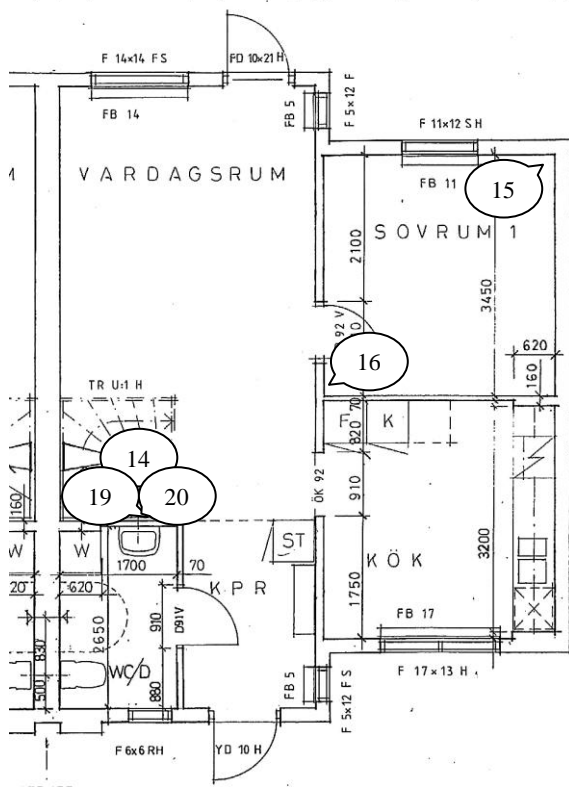
Mät punkt nr	Djup mm	Djup %
11	141	Balk
12	56	40
13	56	40
17	84	60
18	28	20

Figur 6.13 Mät djup i hus 16

Figur 6.12 Husplan med mätpunkter



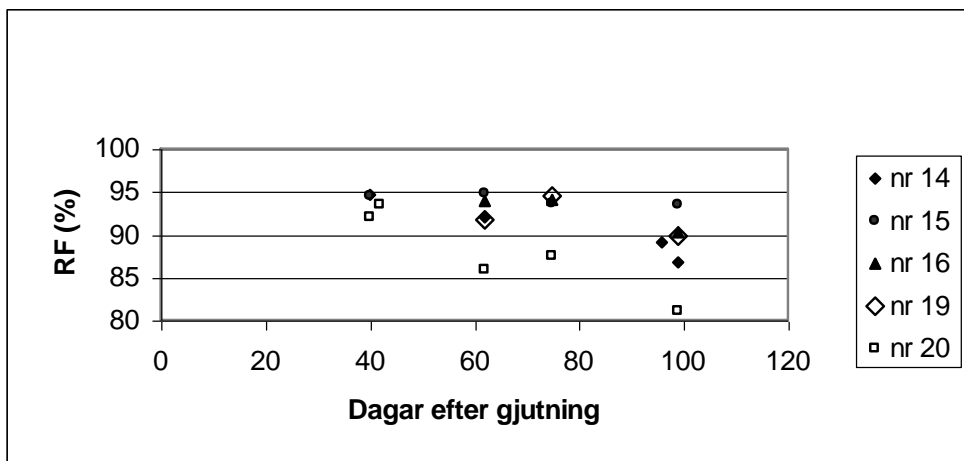
Figur 6.14 Mätresultat i Hus 16



Figur 6.15 Hus 17, plan med mätpunkter

Mätpunkt nr	Djup mm	Djup %
14	56	40
15	141	Balk
16	56	40
19	84	60
20	28	20

Figur 6.16 Mät djup



Figur 6.17 Mätresultat i Hus 17.

## 6.6 Utvärdering av mätresultat

Det är svårt att få en klar uppfattning om uttorkningen, då det är ganska få mätningar på varje punkt. Vad man kan se är att kravet, 85% vid matläggning, inte är uppfyllt i alla fallen. Detta kan ha flera olika förklaringar. Den kanske enklaste slutsatsen man kan dra är att uttorkningen helt enkelt inte varit tillräcklig. Detta behöver dock inte vara hela sanningen utan det kan bland

annat bero på att givaren skadats under tiden eller att givaren inte är tät så att fukt kommit ner i mätroret.

Uttaget prov anses vara den bästa metoden vid fuktmätning i betong med värmekablar och den metod om borde rekommenderas. Detta hade man dock ingen kännedom om vid val av mätmetod på arbetsplatsen.

I hus 16 har uttorkningen enligt mätningarna, delvis fungerat bra och man har nått önskat RF (85%) på 40% av plattans djup, ekvivalent djup, på den ena av de båda punkterna på 40%. Även på 20% respektive 60% av plattans djup har detta värde understigits. Däremot har 85% RF inte uppnåtts för den andra mätpunkten på 40% av plattans djup samt mätpunkten i balken.

I hus 17 har uttorkningen inte uppnått önskat RF på 85% på 40% av plattans djup. Endast på en av mätpunkterna har RF understigit 85% och det är nära ytan, på 20% av plattans djup. Detta värde ska vara lägre vid mattläggning eftersom mattläggning bör ske först när 85 % har uppnåtts på ekvivalent djup. Man kan då misstänka att torkförloppet gått långsammare än man tänkt. Detta kan bero på att värmeaggregatet varit avstängt dagtid då arbete utförts därinne. Mätresultatet visar att det sker en uttorkning, men att denna uttorkning är för långsam jämfört med tillgänglig uttorkningstid.

Mätresultaten tyder på att uttorkningen har varit effektivast i Hus 16 med ingjutna värmekablar. Detta kan bero på att temperaturen varit jämnare och inte stängts av dagtid. Temperaturen har även reglerats på ett annat sätt, i och med att den styrdes med termostata. En nackdel med ingjutna elslingor är att mätpunkterna kan hamna nära elslingorna och därför ger ett missvisande resultat, men detta bör inte vara fallet då slingorna märkts ut och mätpunkten skulle vara mitt emellan slingorna.

Temperatur och relativ fuktighet har registrerats inne i båda husen. Registrering har även skett av temperaturen i plattan samt utomhus. Temperaturen i plattan har i hus 16 reglerats av en termostat. Detta gör att det har varit en relativt jämn temperatur under större delen av tiden. I ett inledningsskede blev det för varmt, men efter det att termostaten justerades kvarstod inte problemet. Betongen härdade för snabbt och värmekablarna fick slås av. För att undvika detta problem bör termostaten kontrolleras ofta i startskedet. Temperaturen i platta 17 har varit lite ojämnare och styrts av temperaturen ute samt av värmeaggregatet. Vi varm väderlek har dörrar och fönster kanske varit öppna och fläkten avslagen. Temperaturen var därför inte lika jämn som i Hus 16, där plattan haft samma temperatur hela tiden.

## **6.7 Praktiska erfarenheter med ingjutna värmekablar**

Erfarenheterna av att gjuta in värmekablar i betongplattan och att sedan torka ut betongen med värme från värmekablar är goda. På arbetsplatsen har man prövat sig fram till en bra kombination av betongkvalitet, gjuttid och torktemperatur. I projekt som byggdes senare än referensprojektet valde man en ganska svårarbetad betong med vct 0,38 som pumpades ut och därefter slodades och glättades ytan. Detta fick ske försiktigt för att ytan inte skulle bli för tät och därmed riskera en hållfasthetsstillväxt på ytan. När plattan sedan torkat, torrslipades ytan med coromantslip för att kunna lägga mattan direkt på betongen. Redan ett par veckor efter gjutning reste man husen och fick därmed ett regnskydd och en bra miljö att utnyttja värmen som avgavs från elslingorna.

Erfarenheter som erhållits i referensobjektet är:

- Mät in kablar och andra ledningar, t ex avlopp och vattenledningar, för gjutning så att det inte finns några oklarheter om var dessa är placerade då mätpunkter ska installeras eller prover tas ut.
- Se till att en väl insatt person, exempelvis utsättare eller arbetsledare som vet var kablar och annat är placerade, är med vid installationen av givare alternativt uttagning av prov. Om detta inte är möjligt se till att det är noga utmärkt vilka platser som är lämpliga för att undvika kapning av rör och slingor alternativt att det hamnar för nära slingan.
- Då det är extra noga med RF innan mattläggning är det att föredra uttaget prov då de mest tillförlitliga resultaten från fuktmätningarna kommer från uttaget prov.
- En nackdel med metoden med ingjutna elslingor är att det kan hända att mätpunkterna hamnat nära slingan och därför ger ett missvisande resultat, detta undviks om slingorna märkts ut ordentligt.
- Kontrollera i startskedet att termostaten fungerar tillfredsställande samt att betongen inte härdar för snabbt. Härdar det för snabbt kan värmekablarna slås av alternativt temperaturen sänkas.



## 7 Slutsatser

Projektet syftade till att öka kunskapen om uttorkning av byggfukt i traditionell betong med hjälp av värmekablar. Om möjligt, skulle projektet ge information om:

- lämpliga hjälpmedel vid uttorkningsbedömningar
- lämpliga mätmetoder
- lämplig placering, temperatur och reglering av värmekablarna
- praktiska erfarenheter vid användandet av uttorkningsmetoden

Det visade sig att dagens bedömningshjälpmedel för uttorkning av betong inte är tillämpliga för bedömning av uttorkning med värmekabel. Detta beror på att det finns temperaturgradienter i betongen och att fukttransporten då kan ske i två motsatta riktningar; diffusion åt ena hållet och kapillärtransport åt andra hållet.

När projektet startade var inte kunskapen om att den mest lämpliga mätmetoden är uttaget prov när det finns en värmekälla i betongen etablerad. Den valda metoden, kvarsittande givare, visade sig ge osäkra mätresultat.

Flera praktiska erfarenheter erhöles i projektet. Några erfarenheter var att det finns en risk att betongen härddar för snabbt om värmen i kablarna slås på för tidigt och att det är viktigt att termostaterns funktion kontrolleras. Vidare upplevdes arbetsmiljön som mycket bättre jämfört med värmebläktar eftersom man slipper oljudet och att utrustning står i vägen.

## 8 Referenser

Almqvist S, Lindvall A. 1997. Effektiv byggtorkning. FoU Väst.

Gränne F. 1996. Uttorkning av betongbjälklag – metoder för kortare uttorkningstider. Institutionen för Byggnader och Installationer, Avdelningen för Byggnadsteknik, KTH. Examensarbete nr 259, 1996.

Harderup E. 1993. Fuktsäkerhet i byggnader, BFR, R32:1993.

Hedenblad G. 1995. Fuktsäkerhet i byggnader. Uttorkning av byggfukt i betong. Torktider och fuktmätning. Byggeforskningsrådet T12:1995.

Mattsson E. 2001. Mätning och beräkning av uttorkningsförloppet för betongbjälklag med golvvärme. Institutionen för byggnadsmaterial, CTH. Examensarbete E-01:2.

Rapp T. 1999. Manual Fuktmätning i betong 1999. Sveriges Byggindustrier RBK.