

## **Fuktförhållanden i betongbjälklag då lättklinker används som fyllnads- material**

**Moisture conditions in concrete slabs where expanded  
clay particles are used as filling materials**

Marin Majstorovic

ISRN: LUTVDG/TVBM--04/5055--SE (1-53)

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)

## **Förord**

Detta examensarbete har utförts på avdelningen Byggnadsmaterial vid Lunds tekniska högskola i samverkan med Optiroc AB / Maxit AB under perioden 2003-2004.

Framför allt vill jag tacka mina föräldrar och min syster för allt stöd de gav mig under mina studentår.

Ett stort tack riktas också till min handledare Anders Anderberg och examinator professor Lars-Olof Nilsson för deras vägledning och goda råd under examensarbetets gång. Tack till Bo Johansson, Ingemar Larsson och Stefan Backe vid avdelningen Byggnadsmaterial, LTH vars råd och hjälp har möjliggjort den praktiska delen av arbetet. Jag vill även tacka Britt Andersson, Jan Asztély och Optiroc AB / Maxit AB.

Lund, februari 2004

Marin Majstorovic

## Sammanfattning

Dagens byggindustri har ambitionen att pressa byggtiderna, men ändå få ett bra resultat. Det är inte alltid lätt att kombinera dessa önskemål. I en del fall är det fuktskador som ställer till problem. Nygjuten eller betong utsatt för vattenskada kan innehålla stora mängder fukt som kan orsaka fuktrelaterade skador på andra material som är i kontakt med betongen. Därför är det viktigt att överflödigt fukt torkas ut så att betongen når erforderlig relativ fuktighet, RF.

Syftet med examensarbetet är att fastställa om det är möjligt att ventileras bort byggfukt från nygjuten betong eller fukt från vattenläckage, d.v.s. stående vatten, genom ventilerad bädd gjord av lättklinkerkulor. Lättklinker utgör fyllnadsmaterial i installationsskiktet. Vidare ska undersökas om en befintlig (vid renovering) betongplatta har fuktkapacitet nog att absorbera överskottsfukt från en nylagd bädd av lättklinker. Lättklinker innehåller vid läggning en viss mängd fukt för att hindra dammbildning.

I arbetet undersöks genom praktiska experiment samspelet mellan lättklinker och betong med avseende på fukt i bjälklagskonstruktioner. Lättklinker används som fyllnadsmaterial i installationsskiktet. I praktiska experiment undersöks följande:

1. Uttorkning av nygjuten betong genom ventilerad bädd av lättklinker.
2. Uttorkning av stående vatten (från t.ex. läckage) genom ventilerad bädd av lättklinker.
3. Fuktabsorption i bädd av lättklinker vid läggning på fuktig betong.
4. Fuktabsorption i betong vid läggning av fuktig lättklinker på uttorkad betong.

Försöken visar att stora mängder fukt kan ventileras bort från bjälklag och golv genom installationsskiktet av lättklinker. Betong som utsätts för fritt vatten eller nygjuten betong kan torkas genom att man blåser torr luft genom bädd av lättklinker (installationsskiktet). Processen kan gå fortare om man har tillgång till varm, torr luft. Lättklinkerkulor ger större motstånd mot luftflöde ju mindre de är. På så sätt kan uttorkningstiden förlängas. Detta bör beaktas vid användning av fraktioner mindre än 12 mm om uttorkning sker med hjälp av fläktar.

Lägger man torr lättklinker på nygjuten betong vars RF är strax under 100 % visar resultaten att lättklinkern tar åt sig väldigt lite fukt från den betongen. För att lättklinkerkulorna ska ta någon stor mängd fukt åt sig måste de vara i kontakt med vatten, annars ökar fuktkvoten endast marginellt. Lättklinkers fuktkapacitet inom det hygroskopiska området är mycket liten (se bilaga 3).

Resultaten visar också att man inte bör utsätta lättklinker för fritt vatten eller doppa lättklinker i vatten för att hindra dammbildning vid golvläggning. Lättklinkerkulor har förmågan att väldigt lätt ta åt sig stora mängder fukt om de utsätts för fritt vatten. Läggning av blöt lättklinker på torr betong gör att stora mängder fukt absorberas av betongen vilket kan medföra att det finns risk att betongens RF överskrider det kritiska fuktillståndet för de flesta material. Lägger man blöt lättklinker på betong bör man se till att börja uttorkningen av lättklinkern och betongen så tidigt som möjligt genom ventilation av lättlinkerbädden.

Ett annat alternativ kan vara att konditionera lättklinker genom att spreja små droppar vatten på kulorna. På det sättet stannar vattnet på kulornas skal och förhindrar dammbildning. På grund av små mängder vatten tar kulorna då inte åt sig mycket fukt.

## Summary

The construction industry of today is in need of providing fast, safe and good construction. It is not easy to combine these desires. Often, it is moisture related damages that cause problems. Fresh concrete or concrete exposed to free water can contain large quantities of moisture that might cause moisture related damages on other materials in contact with the concrete. Because of this it is important that the concrete is dried to a required level of relative humidity.

Through practical experiments this work examines interaction between expanded clay lightweight aggregate (exclay LWA) and concrete focusing on moisture in concrete slabs. Exclay LWA is used as filling material in concrete slabs, where the concrete is covered with exclay LWA.

The main purpose of this Master's thesis is to establish if it is possible to dry out excess moisture from fresh concrete and excess water from water damaged concrete through exclay LWA layer. A further purpose is to investigate if dry concrete (by renovations) has enough capacity to absorb moisture from humid exclay LWA. Exclay LWA contains a certain amount of moisture when being laid to prevent dusting. Through practical experiments the following will be investigated:

1. Moisture absorption in dry concrete caused by humid exclay LWA.
2. Moisture absorption in dry exclay LWA caused by fresh concrete.
3. Drying-process of fresh concrete with help of ventilation through exclay LWA layer.
4. Drying-process of water damaged concrete with help of ventilation through exclay LWA layer.

Results from experiments, where ventilation was used to dry out excess moisture from fresh concrete or water damaged concrete, show that it is possible and effective if exclay LWA is used as filling material.

Results from experiment where dry exclay LWA is laid on fresh concrete show that exclay LWA only absorb a small amount of moisture from concrete. Exclay LWA only absorbs small amount of moisture in the hygroscopic range. Only when exposed to free water, exclay LWA absorbs large amounts of moisture.

The results also show that exclay LWA should not be exposed to free water because the material absorbs large amounts of moisture. The RH in the concrete might increase to a level where other materials in contact with concrete take damage.

Instead of exposing exclay LWA to water to reduce dusting, one can spray water on it. The water hinders dusting but does not increase the moisture ratio in the material much because the water quantity is small.

## Teckenförklaring

$\alpha$	hydratationsgrad	
$\delta$	fukttransportkoefficient	(m <sup>2</sup> /s)
$C$	cementhalt	(kg/m <sup>3</sup> )
$q_t$	luftflöde	(m <sup>3</sup> /s)
$q_f$	fuktflöde	(kg/(m <sup>2</sup> *s))
$RF$ ( $RH$ )	relativ fuktighet (Relative Humidity)	(%)
$S$	vattenmättnadsgraden	(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
$u$	fuktkvot	(kg/kg)
$vct$	vattencementtal	
$w$	fukthalt	(kg/m <sup>3</sup> )
$W_{kritisk}$	jämviktsfukthalten vid den kritiska RF	(kg/m <sup>3</sup> )
$W_B$	byggfukt	(kg/m <sup>3</sup> )
$W_\infty$	vattenmängd vid jämvikt med yttre klimat	(kg/m <sup>3</sup> )
$W_0$	vattenmängd tillförd vid tillverkningen	(kg/m <sup>3</sup> )
$\Delta W_0$	vattenmängd tillförd under härdningen	(kg/m <sup>3</sup> )
$W_N$	kemiskt bundet vatten	(kg/m <sup>3</sup> )
$Z$	ånggenomgångsmotstånd	(s/m)
$\delta$	fukttransportkoefficient	(m <sup>2</sup> /s)

## **Innehållsförteckning**

I.	Sammanfattning	sid. 4
II.	Summary	sid. 5
III.	Teckenförklaring	sid. 6
<b>1.</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>sid. 9</b>
1.1	Bakgrund	sid. 9
1.2	Syfte	sid. 10
1.3	Avgränsningar	sid. 10
<b>2.</b>	<b>TEORI</b>	<b>sid. 11</b>
2.1	Allmänt om fukt i material	sid. 11
2.2	Fuktfixering i betong	sid. 13
2.3	Byggfukt	sid. 14
2.4	Betongens självuttorkning	sid. 15
2.5	Fukttransport	sid. 16
2.6	Fuktfördelning i konstruktionen	sid. 16
2.7	Uttorkning av betong	sid. 17
<b>3.</b>	<b>MÄTNING AV RELATIV FUKTIGHET</b>	<b>sid. 18</b>
3.1	Allmänt	sid. 18
3.2	Mätning med Vaisala mätgivare	sid. 18
3.3	Ekvivalent djup	sid. 19
3.4	Kalibrering av mätinstrument	sid. 19
3.5	Temperaturinverkan	sid. 20
<b>4.</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>sid. 21</b>
4.1	Lättklinker	sid. 21
4.2	Fukt i lättklinker	sid. 21
4.3	Betong	sid. 22
<b>5.</b>	<b>FÖRSÖKSUPPSTÄLLNINGAR</b>	<b>sid. 23</b>
5.1	Försöksupplägg	sid. 23
5.2	Uttorkning av vattenskadad betong genom ventilerad bädd av lättklinker	sid. 23
5.3	Uttorkning av nygjuten betong genom ventilerad bädd av lättklinker	sid. 24
5.4	Fukttransport genom lättklinker	sid. 25
5.5	Fuktabsorption i lättklinker	sid. 25
5.6	Fuktabsorption i bädd av lättklinker från nygjuten betong	sid. 25
5.7	Fuktabsorption i gammal betong från fuktig lättklinker	sid. 26

<b>6. RESULTAT AV UTTORKNINGSFÖRSÖK OCH FUKTMÄTNINGAR</b>	<b>sid. 27</b>
6.1 Allmänt	sid. 27
6.2 Uttorkning av vattenskadad betong genom ventilerad bädd av lättklinker	sid. 27
6.3 Uttorkning av nygjuten betong genom ventilerad bädd av lättklinker	sid. 29
6.4 Fukttransport genom lättklinker	sid. 31
6.4 Vattenabsorption i lättklinker	sid. 32
6.5 Fuktabsorption i bädd av lättklinker från nygjuten betong	sid. 33
6.6 Fuktabsorption i gammal betong från fuktig lättklinker	sid. 34
<b>7. SLUTSATS</b>	<b>sid. 36</b>
<b>8. REFERENSER</b>	<b>sid. 37</b>
<b>9. BILAGOR</b>	<b>sid. 38</b>
9.1 Bilaga 1 - Betongrecept	sid. 39
9.2 Bilaga 2 - Mätvärden från samtliga experiment	sid. 41
9.3 Bilaga 3 - Lättklinkers sorptionskurva	sid. 47
9.4 Bilaga 4 - Fuktabsorption i lättklinker	sid. 48
9.5 Bilaga 5 – Beräkningar	sid. 49



# 1. Inledning

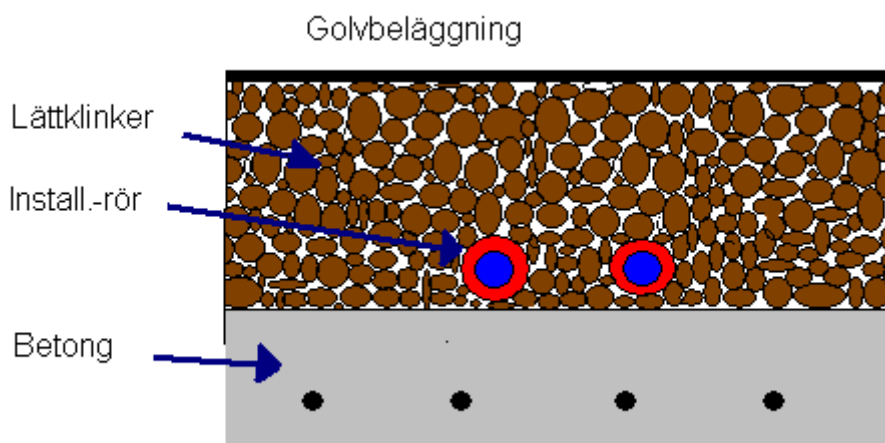
## 1.1 Bakgrund

Dagens byggindustri har ambitionen att pressa byggtiderna, men ändå få ett bra resultat. Det är svårt att kombinera dessa önskemål. Ofta kan uttorkningstiderna vara ett problem. Överflödigt fukt stannar i materialen och orsakar fuktrelaterade skador som mögel, svamp, lukt, nedbrytning av golvlimmer, emissioner m.m.

I vissa bjälklagskonstruktioner används lättklinker som fyllning i installationsskikt. Lättklinker i form av kulor blåses då ut över bjälklaget. Ur fuktsynpunkt är det önskvärt att lättklinkern innehåller så lite fukt som möjligt, men samtidigt kan detta medföra stor dammbildning vid byggandet (Fig. 1.1).

Nygjuten betong eller gammal betong som utsätts för vattenskada innehåller stora mängder högalkalisk fukt som i kontakt med organiska material kan orsaka skador. Med tanke på de fuktproblem som finns i dagens byggande är det mycket intressant att utreda hur lättklinker fungerar i installationsskiktet med avseende på absorption och desorption av fukt som kommer från nygjuten betong eller betong som har varit utsatt för vattenskada.

De vanligaste sätten att få ner fukttillståndet i ett material är en minskning av yttre luftfuktigheten, höjning av temperaturen samt i cementbaserade material sänkning av vattencementtalet. Använder man sig av dessa metoder kan uttorkningstiden minskas och risken för fuktskador reduceras.



Figur 1.1. Principiell bild på en betongbjälklagskonstruktion där lättklinker ingår i installationskiktet

## 1.2 Syfte

I detta projekt undersöks genom praktiska experiment samspelet mellan lättklinker och betong med avseende på fukt i bjälklagskonstruktioner. Lättklinker används som fyllnadsmaterial i installationsskiktet på betong. I praktiska experiment undersöks följande:

- Uttorkning av nygjuten betong genom ventilerad bädd av lättklinker.
- Uttorkning av stående vatten (från t ex läckage) genom ventilerad bädd av lättklinker.
- Fuktabsorption i bädd av lättklinker vid läggning på fuktig betong.
- Fuktabsorption i betong vid läggning av fuktig lättklinker på uttorkad betong.

Syftet med examensarbetet är att fastställa om det är möjligt att ventileras bort byggfukt från nygjuten betong samt fukt från vattenläckage, d.v.s. stående vatten, och om en befintlig (vid renovering) betongplatta har fuktkapacitet att absorbera överskottsfukt från en nylagd bädd av lättklinker.

## 1.3 Avgränsningar

- I experimenten används bara lättklinker i fraktionen 12-20 mm.
- Brukligt är att lägga avjämningsmassa på lättklinkerbädden. För att begränsa antalet parametrar görs inte detta i experimenten.
- Betong med vct 0,70 används i samtliga experiment.

## 2. Teori

### 2.1 Allmänt om fukt i material

Vatten binds mer eller mindre till nästan alla byggnadsmaterial. Vatten kan bindas till material på olika sätt. Man brukar skilja mellan /7/:

- **Kemiskt bundet vatten** – vatten som ingår i materialets struktur.
- **Fysikaliskt bundet vatten** är det vi kallar fukt eller förångningsbart vatten.
  1. **Adsorberat vatten** är det vatten som finns bundet på porytorna. Vattnet binds till fast material genom så kallade van der Waalska krafter. Bindningskrafterna ökar med ökad RF i omgivningen.
  2. **Kapillärt vatten** är det vatten som finns i materialets porer p.g.a. kapillärkondensation eller kapillärsugning.
- **Fritt vatten** finns i mycket grova porer eller utanför materialet.

Fukt kan upptas (*absorption*) av ett material från omgivningen. Materialet kan avge fukt (*desorption*) eller det kan råda balans mellan materialet och omgivningen (absorption och desorption är lika stora). Fukttillstånd hos ett material kan beskrivas på flera olika sätt /3/.

$$\text{Fuktkvot: } u = \frac{m_w}{m_0} \text{ (kg/kg);}$$

$m_w$  = mängden förångningsbart vatten, kg

$m_0$  = mängden torrt material, kg

$$\text{Fukthalt: } w = \frac{m_w}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$V$  = materialets volym,  $m^3$

$$\text{Vattenmättnadsgraden: } S = \frac{w}{n \cdot \rho_{\text{vatten}}} \text{ (m}^3\text{/m}^3\text{)}.$$

$n$  = porositet

$$\text{Kapillärmättnadsgrad: } \text{KMG} = \frac{u}{u_{\text{kap}}}$$

$$u_{\text{kap}} = \text{(max. upptagen fukt vid kapillärsugning)} / \text{torrvikt}$$

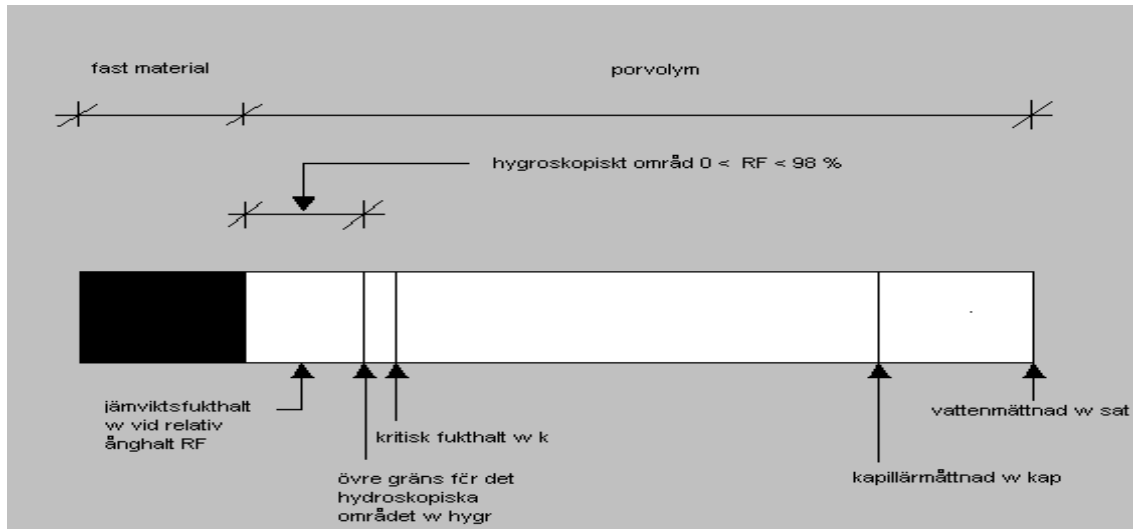
Fukthalt används när man vill veta hur mycket fukt det finns i materialet. Fuktkvot är generellt intressant eftersom den kan bestämmas lätt med hjälp av torkning och vägning /3/.

Det som är negativt med att beskriva material på dessa sätt är att det blir svårt att jämföra två olika material med varandra eftersom materialens densitet och porstorleksfördelning oftast är olika. Material med väldigt stora skillnader i fuktkvot eller fukthalt kan ändå vara i balans (fuktjämvikt) med varandra /5/.

Det vanligaste sättet att ange fukttillstånd i material är genom relativ fuktighet RF (%). RF är kvoten mellan aktuell ånghalt  $v$  och mättnadsånghalten  $v_s$  i luft /3/.

$$RF = \frac{v}{v_s}$$

Metoden är användbar inom det hygroskopiska området. Många metoder för beräkningar av beständighetsproblem använder RF som mått på fukttillståndet /5/. Ovanstående begrepp kan beskrivas i fig. 2.1.

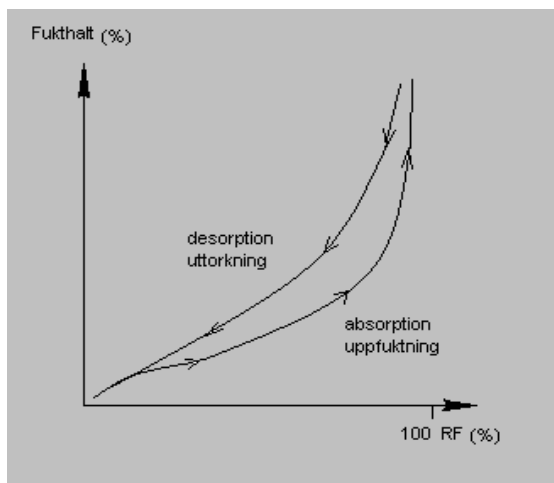


Figur 2.1. Fukt i material. Bild efter /3/.

**Kritiska fukttillståndet** visar gränsen vid vilken materialet kan bibehålla sin funktion. När man dimensionerar för fukt ska man alltid jämföra resultatet med kritiska fukttillståndet /3/.

**Hygroskopisk fukt** är fukt materialet kan uppta från den omgivande luften. Olika material kan ta upp olika mycket fukt. Adsorption och kapillärkondensation bestämmer hur mycket fuktig luft som kan upptas /3/.

För att beskriva ett materials fukttegenskaper används **sorptionskurvor**. En sorptionskurva visar hur fukttillståndet varierar när materialet står i jämvikt med olika RF-miljöer (Fig. 2.2) /3/.



Figur 2.2. Exempel på hur en sorptionskurva kan se ut.

## 2.2 Fuktfixering i betong

Hur mycket fukt ett material tar åt sig beror väldigt mycket på hur finporöst materialet är. Betong är mycket finporös vilket innebär att den kan binda till sig mycket fukt. Vid beräkningar av  $W_{\max}$  (eller  $W_{\text{kap}}$  i fig. 2.1) brukar man räkna med att alla porer är vattenfyllda (förutom komprimerings- och luftporer) och att RF är 100 % /1/. Då kan  $W_{\max}$  skrivas som:

$$w_{\max} = C(vct - 0,19\alpha)$$

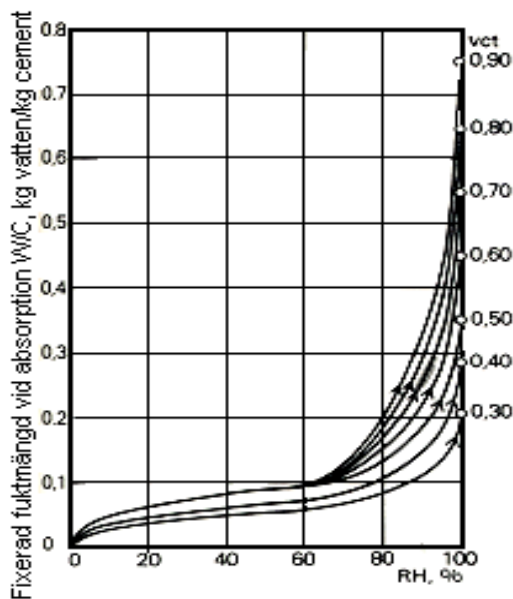
där  $C$  är cementhalt ( $\text{kg/m}^3$ ) och  $\alpha$  är hydratationsgrad.

Den relativa fuktigheten RF styr direkt fukthalten i betongen. Olika värden på fukthalten fås beroende på om det är absorption respektive desorption (Fig. 2.3). Vid 45% RF kan desorption och absorption beskrivas som:

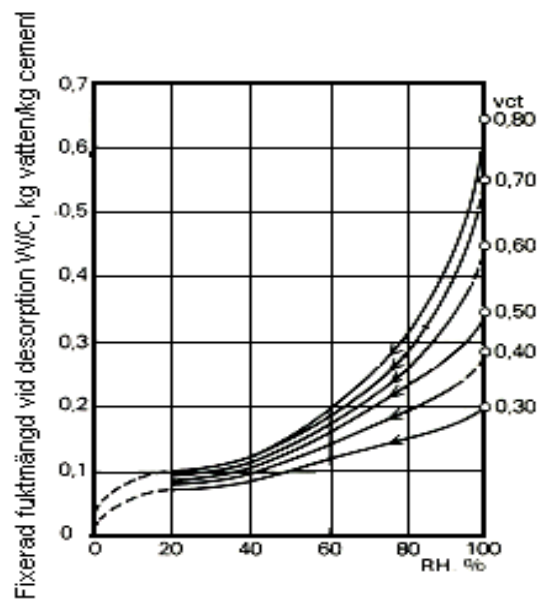
$$W_{45,des} = 0,15 \cdot \alpha \cdot C$$

$$W_{45,abs} = 0,11 \cdot \alpha \cdot C$$

Med hjälp av fig. 2.3 kan man bestämma isotermen för vilken betong som helst som har  $vct < 1,0$  /1/.



Absorptionsisotermer för betong. I figurerna har även inritats fukthalterna (ringar) för fullständig vattenmättnad enligt formel  
 För  $vct = 0,30$  är  $\alpha = 0,50$   
 $vct = 0,40$  är  $\alpha = 0,60$   
 $vct = 0,50 - 0,90$  är  $\alpha = 0,80$

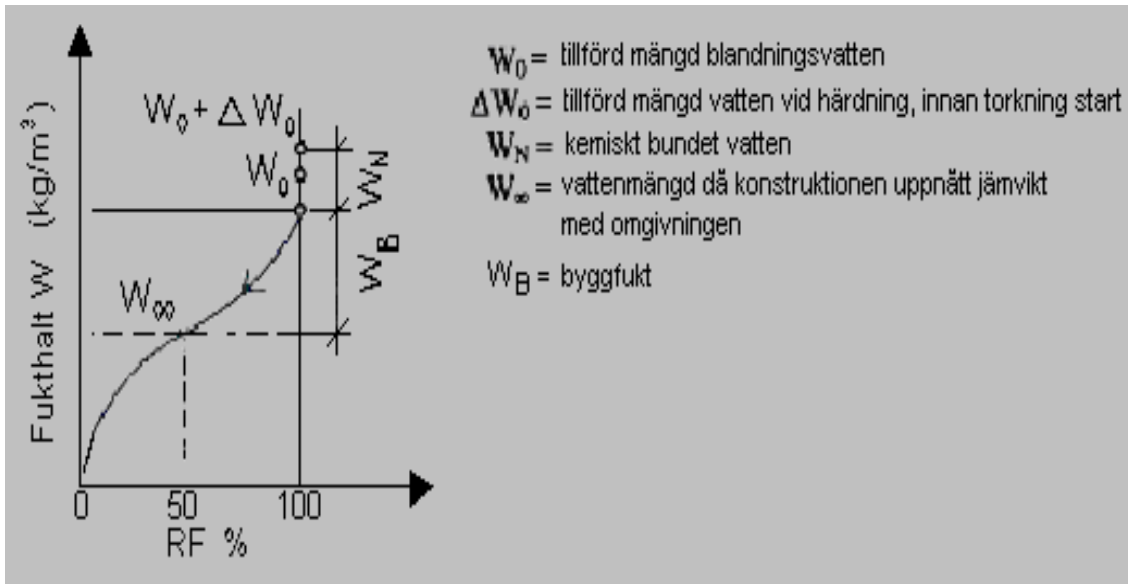


Desorptionsisotermer för betong. I figurerna har även inritats fukthalterna (ringar) för fullständig vattenmättnad enligt formel  
 För  $vct = 0,30$  är  $\alpha = 0,50$   
 $vct = 0,40$  är  $\alpha = 0,60$   
 $vct = 0,50 - 0,80$  är  $\alpha = 0,80$

Figur 2.3. Absorption och desorption åskådliggörs bäst med ovanstående figurer /1/.

## 2.3 Byggfukt

Byggfukt benämns som den mängd vatten som ska avges för att material ska komma till jämvikt med omgivningen. Mängden byggfukt varierar hos olika material. Byggfukt tillförs materialet i samband med tillverkning, lagring, transport och byggnadsproduktion. Begreppet byggfukt beskrivs enklast med en bild (Fig. 2.4) /1/.



Figur 2.4. Desorptionsisoterm för betong. Definition av byggfukt i betong – principiellt. Bild efter /1/.

Enligt figuren är  $W_B$  (byggfukten, kg/m<sup>3</sup>)

$$W_B = W_0 + \Delta W - W_n - W_\infty.$$

Om man är intresserad av att torka ut betong till en viss gräns används följande uttryck:

$$W_B = W_0 + \Delta W - W_n - W_{crit}.$$

$W_{crit}$  är jämviktsfukthalten vid kritisk  $RF$ . I detta fall motsvarar inte  $W_B$  för all byggfukt, utan endast den byggfukten som ska bortföras för att betongen ska komma ner till kritisk  $RF$ .  $W_{crit}$  och  $W_\infty$  bestäms med hjälp av fig. 2.3 och utifrån de krav som ställs på konstruktionsdelen /1/.

$\Delta W$  är härdningsvatten. Om det inte tillförs fukt under härdningstiden gäller

$$\Delta W_{min} = 0.$$

Om det tillförs en vattenmängd som motsvarar den kemiska krympningen gäller

$$\Delta W_{max} = 0,06 * \alpha * C.$$

Det kemiskt bundna vattnet  $W_n$  beskrivs som

$$W_n = 0,25 * \alpha * C.$$

## 2.4 Betongens självuttorkning

Hos betong som härddas med membran d v s att vattentillförsel och avdunstning förhindras, sker trots allt en inre uttorkning. Det fenomenet kallas självuttorkning. Självuttorkning sker p.g.a. att det ursprungliga vattnet bara upptar 75 % av sin ursprungliga volym när det reagerar med cement och binds kemiskt. De resterande 25 % skapar luftfyllda porer. Från uttrycket ovan vet vi att det kemiskt bundna vattnet beskrivs som

$$W_n = 0,25 * \alpha \cdot C .$$

Därför kan vi beskriva luftporvolymen av självuttorkningen som /1/:

$$V_{luft} = 0,25 * 0,25 * \alpha * C / \gamma_w \left( \frac{m^3}{m^3} \right) \quad \text{eller} \quad = 0,0625 * \alpha * C \left( \frac{l}{m^3} \right).$$

Många olika faktorer påverkar självuttorkningen. Till exempel beror hydrationsgraden på härdningstiden vid oförändrad sammansättning hos betong. Den är också en termisk aktiverad process under de första dyggen. Processen kan beskrivas med Arrheniusfunktionen /3/.

Vid  $vct < 0,39$  är den största möjliga hydrationsgraden  $\alpha_{max} = vct / 0,39$ . Detta beror på att det inte finns plats för fler fullständiga hydrationsprodukter. Alltså beror självuttorkningens storlek under första tiden på vattencementtalet, lagringstiden och lagringstemperaturen.

För att fenomenet ska ha bra effekt måste betongen ha lågt vct. För höga betongkvaliteter (lågt vct) kan relativt låg RF bibehållas även vid lagring i vatten /1, 5/.

## 2.5 Fukttransport

Om fukttransportberäkningar ska utföras måste några grundläggande faktorer vara bestämda:

1. Materialegenskaper, både värme- och fukttekniska.
2. Begynnelsestillstånd i form av fukthalter och temperatur i material och omgivning.
3. Randvillkor med hänsyn till tid, temperatur och fuktillstånd i omgivningen

*Fukttransport* sker antingen i ång- eller vätskefas. I ångfas kan den förekomma som diffusion och fuktkonvention. I vätskefas förflyttas vatten p.g.a. tyngdkraften, vattentrycket, vindtrycket eller kapillära krafter /1, 3/.

*Fuktdiffusion* i materialet innebär att vattenmolekyler förflyttas i riktning mot avtagande koncentration.

Den totala fukttransporten beskrivs med /1, 3/:

$$q = -\delta \frac{dv}{dx} \quad q = \text{flöde ( kg/(m}^2 \text{ s) )}$$

$$\delta = \text{fukttransportkoefficient (m}^2\text{/s).}$$

$$dv = \text{skillnad i ånghalt över skiktet (kg/m}^3\text{)}$$

$$dx = \text{skiktjocklek (m)}$$

## 2.6 Fuktfordelning i konstruktionen

Många olika faktorer som materialegenskaper och randvillkor spelar in och påverkar beräkningarna vid bestämning av fuktillståndet i en viss konstruktion.

Fuktfordelningen kan beskrivas som:

1. Stationär fuktfordelning.
2. Icke stationär fuktfordelning.

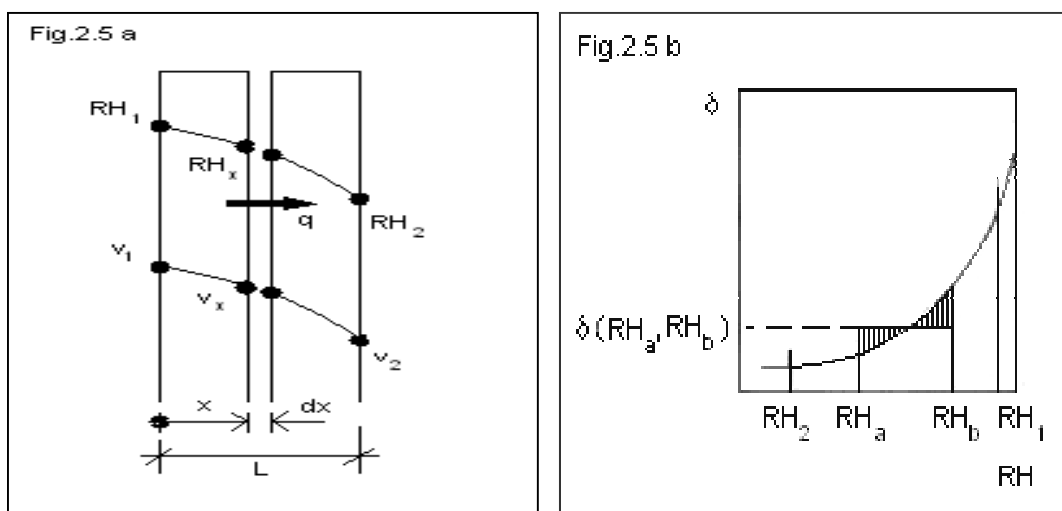
Stationär fuktfordelning uppstår efter lång tid d.v.s. då byggfukt är uttorkad och konstruktionen är i balans med omgivningen. Detta gäller oftast konstruktioner som är inomhus. Om fuktflödet är konstant i varje punkt och hydratationen är försumbar kan fuktillståndet beräknas med:

$$q = -\delta \frac{dv}{dx} = \frac{\Delta v}{Z} = \frac{v_1 - v_2}{Z_L} = \frac{v_1 - v_x}{Z_x}, \quad v_x = v_1 - \frac{Z_x}{Z_L} \cdot (v_1 - v_2) \quad (\text{Fig. 2.5 a})$$

eller vid konstant temperatur /1, 3/.

$$RH_x = RH_1 - \frac{Z_x}{Z_L} (RH_1 - RH_2).$$

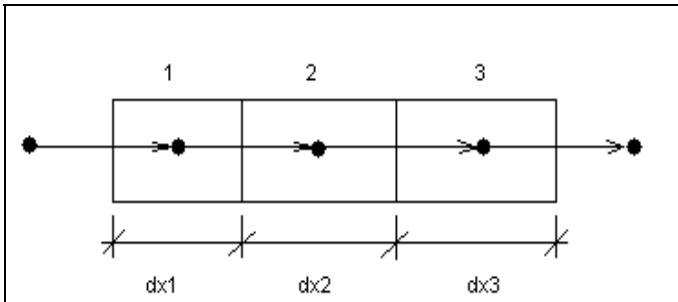
Om  $\delta$  inte är konstant och beror på RF kan approximation göras med hjälp av fig. 2.5 b.



Figur 2.5. a) Principiell fuktfordelning vid stationär fukttransport. b) Genomsnittlig  $\delta$  i ett RH-intervall /1/.



Icke stationär fuktfordelning innebär att fuktförhållandena varierar i konstruktionen t.ex. uttorkning, uppfuktning eller klimatvariation. Vid sådana beräkningar delar man upp konstruktionen i små celler och flödet mellan dem beräknas (Fig. 2.6) /1, 3/.



Figur 2.6. Uppdelning av konstruktionen i tre celler. /1/

$$q = \frac{v_1 - v_2}{Z_{ij}}$$

Med ångmotståndet  $Z_{ij}$  mellan två cellers mittpunkter

$$Z_{ij} = \frac{Z_i}{2} + \frac{Z_j}{2}$$

$Z_i$  = ångmotstånd hos cell i.

$Z_j$  = ångmotstånd hos cell j.

$Z_{ij}$  = ångmotstånd för skikt mellan celler i och j.

## 2.7 Uttorkning av betong

Uttorkning av betong är en komplicerad process. Betongens uttorkningstid beror på ett flertal faktorer /9/ /13/:

- typ av cement
- typ och mängd av olika tillsatsmaterial
- vattencementtal
- omgivningens klimat eller härdningsförhållanden
- konstruktionstyp
- produktionstyp
- antalet uttorkningsriktningar
- krav på RF vid matläggning etc.

Det som spelar mest roll för uttorkningstiden är vattencementtalet eftersom den så kallade ”farliga fukten” (fukten som måste avdunsta) och den fukttransporterande förmågan är direkt beroende av det.

Viktigt att veta är att mängden farlig byggfukt ökar med ökat vct och att porstrukturens finhet ökar med minskat vct vilket gör att den fukttransporterande förmågan minskar. Undersökningar har visat att uttorkningstiden blir kortare hos betongtyper med lägre vct /1/.

### 3. Mätning av relativ fuktighet

#### 3.1 Allmänt

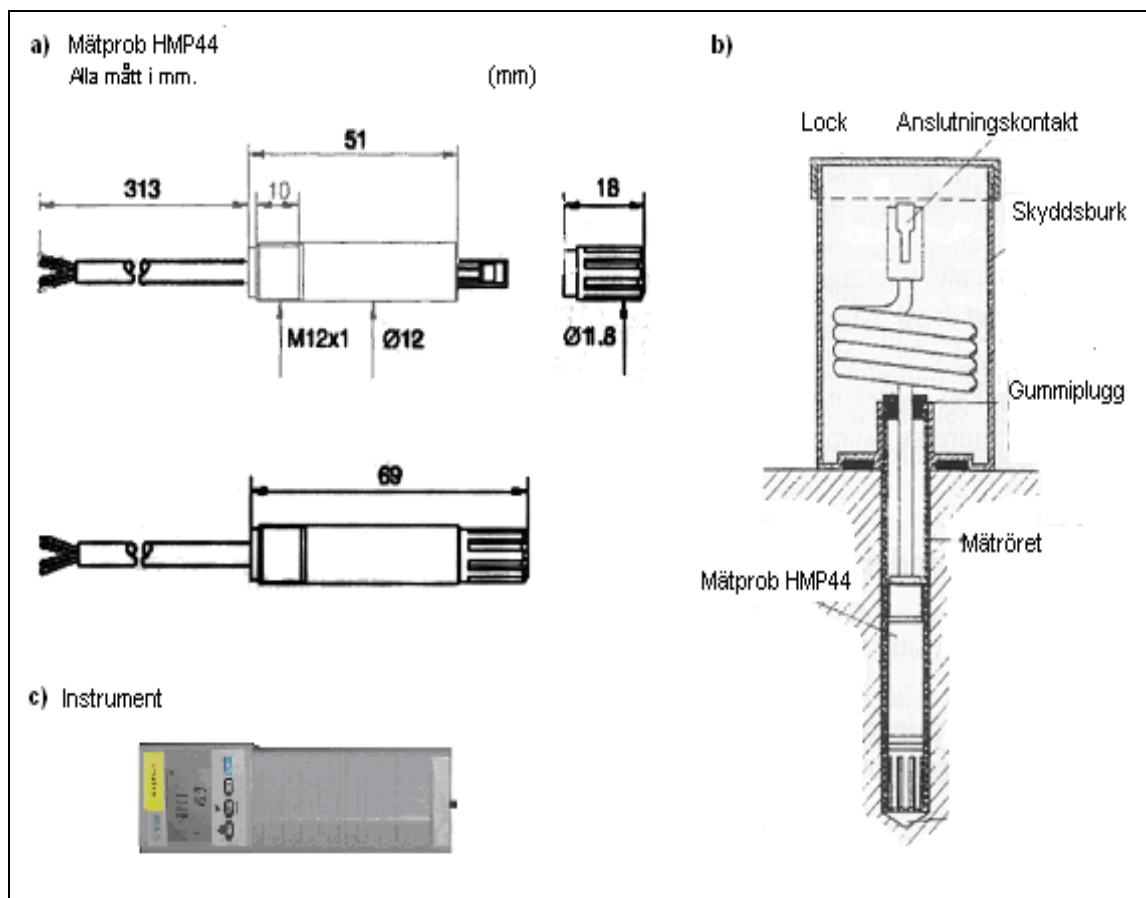
Vid fuktmätning i betong mäts fukttinnehållet (fuktkvot) eller den relativa fuktigheten hos luften i porsystemet, RF. Mätningarna kan översättas i varandra men om man vill ha tillförlitliga resultat bör en direkt mätning göras. Det vanligaste sättet att mäta fukt i betong är med RF-metoden p.g.a. att många beständighetsproblem anses vara knutna till den relativa fuktigheten. Mätning av RF kan bestämmas genom direkt mätning (ingjutna eller inborrade rör) eller genom uttagna prov från konstruktionen /1/.

#### 3.2 Mätning med Vaisala mätgivare

I projektet används Vaisala mätgivare. Komponenter som ingår i mätning är:

- HMP 44-givare: fukt- och temperaturprob (Fig.3.1.a)
- HMI41-1: instrument (Fig. 3.1.c)
- Gummipluggar
- Mätrör

HMP-givare innehåller ett hygroskopiskt material vars kapacitans ökar kraftigt med ökad fuktighet. Givaren kopplas vidare till ett avläsningsinstrument där RF och temperatur kan avläsas (Fig. 3.1.c) /6/.



Figur 3.1. Givare Vaisala HMP 44 och mätutrustning vid RF-mätning i fält /6/.

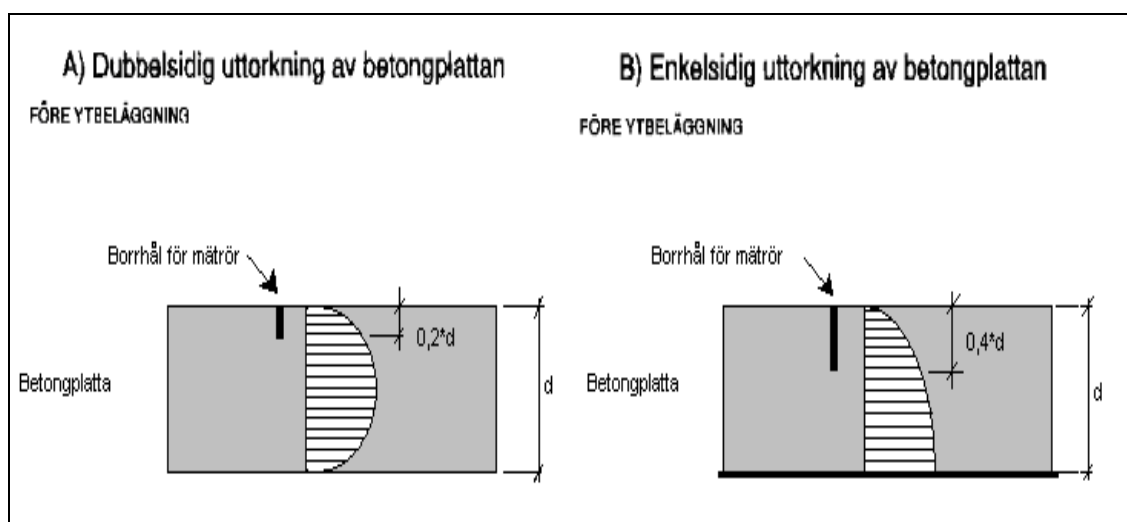
Enligt RBK:s (Rådet för byggkompetens) manual går montering till på följande sätt:

1. Ett hål borrar och görs rent med en dammsugare.
2. Mättröret sticks in i hålet och tätas vid sidorna mot betongen med fogmassa.
3. En givare stoppas in i mättröret och tätas med en gummiplugg som sitter runt kabeln.

Nu är monteringen klar men det tar ytterligare tre dygn innan mätningar kan påbörjas. Jämvikt måste råda mellan fuktillståndet i borrhålet och konstruktionen /6/.

### 3.3 Ekvivalent djup

Fuktprofilen hos en betongplatta kan se olika ut beroende på om det är enkelsidig eller dubbelsidig uttorkning. Fig. 3.2 beskriver fuktprofiler vid enkelsidig respektive dubbelsidig uttorkning.



Figur 3.2. Exempel på fuktprofiler /6/.

Hos betongplattor som torkar dubbelsidigt är RF störst i mitten och med plattor som torkas enkelsidigt är den störst i botten. Djupet på vilket man mäter RF kallas det karakteristiska djupet och beror på uttorkningsprofilen.

Uttorkningen beror på många olika faktorer och verklig fuktprofil kan skilja sig något från vad som beskrivs på bilden. För att få bästa mätresultat bör man mäta på olika djup i konstruktionen /6/.

### 3.4 Kalibrering av instrument

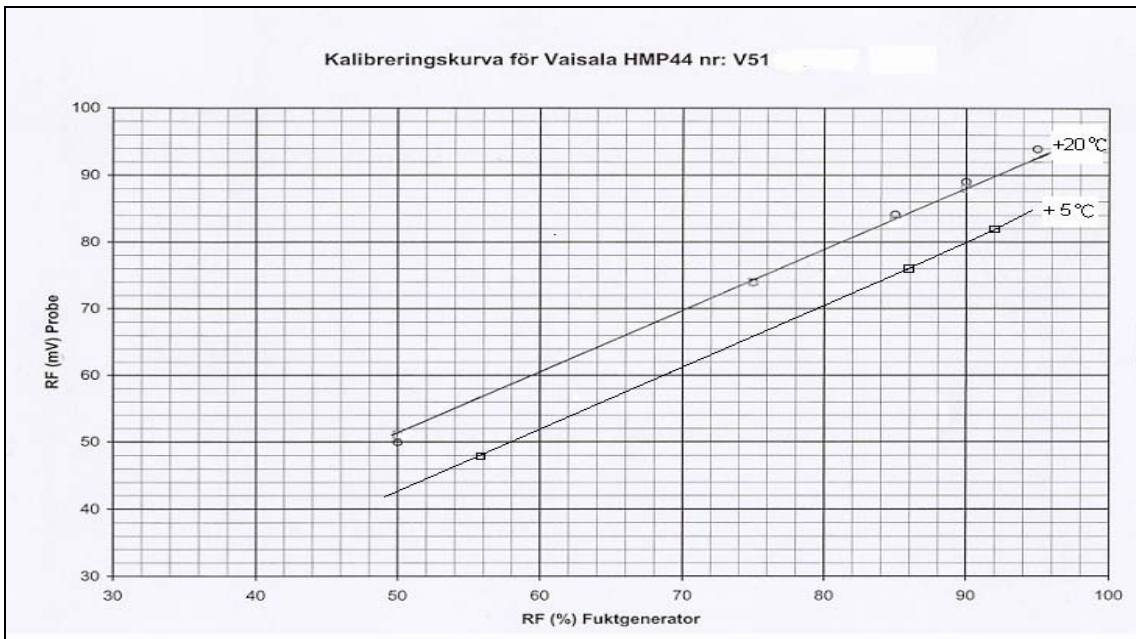
Vid mätning med Vaisala mätgivare måste kalibrering av instrument göras antingen före eller efter mätningen. På det sättet åstadkoms ett tillförlitligt resultat.

Kalibrering utfördes i en precisionsfuktkammare vid avd. Byggnadsmaterial LTH. Avläsningar gjordes vid följande RF och temperaturer /6/:

+20°C : RF = 75, 85, 90 och 95 %

+5°C: RF = 75, 85, 90 och 95 %.

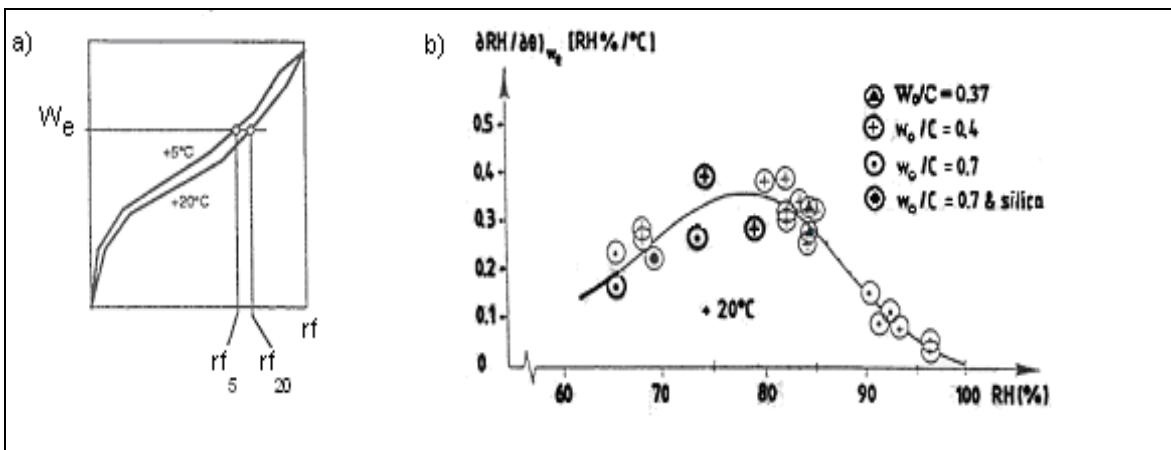
Från tagna avläsningar kan man för varje givare rita upp ett kalibreringsdiagram (Fig.3.3). Ur kalibreringsdiagrammet avläses sedan korrekta värden.



Figur 3.3. Exempel på kalibreringsdiagram för RF-givare vid två olika temperaturer (5° och 20° C).

### 3.5 Temperaturinverkan på avläsningar

Det är viktigt att vara observant på temperaturen vid kalibreringsmätningar. Avvikelser kan leda till fel. Orsaken är sorptionsisotermens temperaturberoende. Om man betraktar fig. 3.4 nedan kan man se fenomenet. Om temperaturen är hög vid avläsningen får man ett alltför högt RF. Om mätningarna görs i betong kan diagrammet nedan användas /6, 9/.



Figur 3.4. Inverkan av temperaturskillnader mellan mätning och konstruktion på uppmätt RF. a) Principiell inverkan. b) Korrektionsdiagram för RF i betongkonstruktioner /5/.

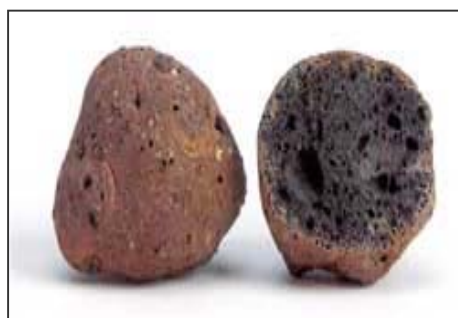
## 4. Material

### 4.1 Lättklinker

Lättklinker är en sort av keramiskt material och tillverkas i form av kulor. Därför kallas materialet även lättklinkerkulor. Lättklinker har blivit ett material som används inom många olika områden som väg- och järnvägsbyggande och inom block-, betong- och elementindustrin.

Som kulor används lättklinker som fyllning vid väg-, mark- och byggarbeten för att tjälisolera, dränera och sprida last. Kulor ger god lastspridning och tål påkänningar, upp till 1500 kPa /12/.

Produktnamnet Leca kommer från engelska Light Expanded Clay Aggregate, vilket översatt till svenskan betyder ”lätt expanderad lera”. Kulor tillverkas av kalkfattig och finkornig lera. Leran torkas och expanderas i roterade ugnar vid ca 1100 graders värme. Resultatet blir luftiga kulor med ett hårt skal och ett poröst inre (Fig. 4.1).



Figur 4.1. Lättklinker /12/.

Färgen kan beskrivas som rödbrun på skalet medan den inre strukturen är svart. Det hårda skalet och den luftiga och porösa insidan gör lättklinker till ett värmeisolerande, ljudisolerande, obrännbart material som tål fukt, frost och mögel samtidigt som det har relativt hög tryckhållfasthet och lång livslängd. Lättklinkerkulor siktas i olika fraktioner. Nedanstående tab. 4.1 visar densiteter och hållfastheter för sorteringar. I de olika försöken används lättklinker med sortering 12-20 mm.

Sortering mm	Densitet Medelvärde Kg/m <sup>3</sup>	Övre densitetsgräns Kg/m <sup>3</sup>	Kompaktdensitet Kg/m <sup>3</sup>	Tryckhållfasthet MPa
2 – 6	400	500	2500	1,50
4 – 10	310	370		1,15
4 – 12	300	360		1,15
8 – 14	270	340		0,85
12 - 20	260	320		0,75

Tabell 4.1. /10/

### 4.2 Fukt i lättklinker

Lättklinker har egenskapen att lätt ta upp vatten. Vatten sugas in i kulornas porsystem väldigt snabbt och gör att fuktkvoten stiger drastiskt. Däremot tar lättklinker inte åt sig avsevärt mycket fukt från luften om den finns i ett klimat med RF < 98 %. (Bilaga 3). Den hygroskopiska fuktkapaciteten hos lättklinker är liten. Variationer i leveransfuktkvoten förekommer beroende på den interna materialbehandlingen och varierar normalt mellan 0 – 15 viktprocent /10/.

### 4.3 Betong

Betongen som användes i försöken var en husbyggnadsbetong med vct 0.7 (enligt recept i bilaga 1). Den gjutna betongen skall motsvara ett normalt bjälklag med en tjocklek av 18 cm. Eftersom bjälklag i normala fall har tvåsidig uttorkning har det i försöken gjutits betong med halva tjockleken som har ensidig uttorkning. Betongen göts således så att den blev tät i botten och på sidorna medan ovansidan förblev öppen. Härdningen skedde med membranhärdning de 14 första dyggen.

Det göts även betong som härdades genom membranhärdning under de fem första veckorna. Membranhärdning bestod av plastfolie som omsluter betongblocket från alla sidor. På det sättet åstadkoms att betongen får en viss hållfasthet men bevarar högt RF-värde liknande nygjuten betong p.g.a. förhindrat fuktutbyte med omgivningen.

För en konventionell husbyggnadsbetong (vct ca 0,7) torkar byggfukten bort dels genom fukttransport från betongytorna, dels genom att cementet kemiskt binder vatten, s.k. inre självuttorkning. Detta är en betong med relativt öppet porsystem, vilket normalt innebär att fukttransporten, d.v.s. uttorkningen utåt, är det dominerande bidraget till uttorkningseffekten. Det innebär emellertid också att denna typ av betong gärna suger åt sig regn och utifrån kommande vatten efter gjutning, t.ex. vid en vattenskada /11/.

## 5. Försöksuppställningar

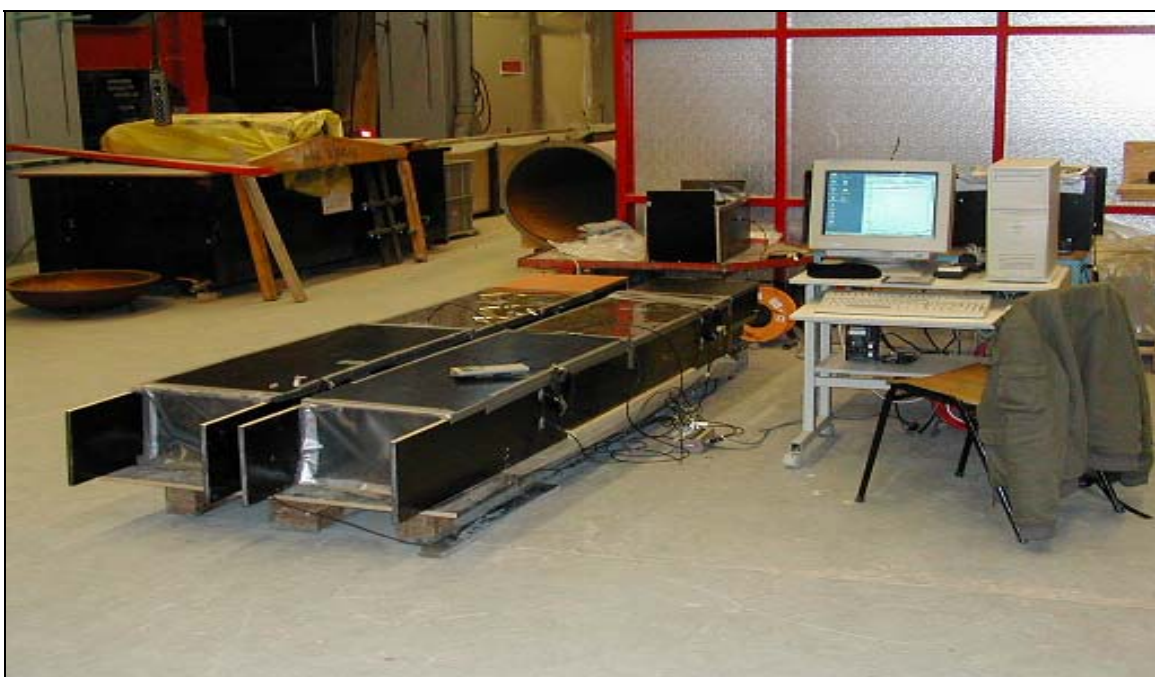
### 5.1 Försöksupplägg

I projektet användes sex olika försöksuppställningar:

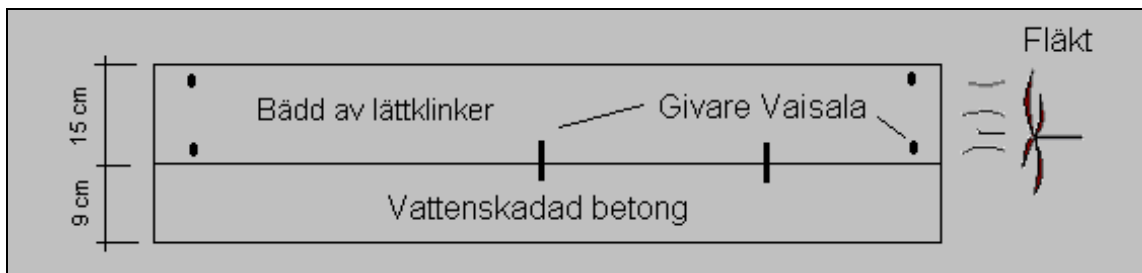
1. Uttorkning av vattenskadad betong genom ventilerad bädd av lättklinker.
2. Uttorkning av nygjuten betong genom ventilerad bädd av lättklinker.
3. Fukttransport genom lättklinker.
4. Fuktabsorption i lättklinker.
5. Fuktabsorption i bädd av lättklinker från nygjuten betong.
6. Fuktabsorption i gammal betong från fuktig lättklinker.

### 5.2 Uttorkning av betong utsatt för vattenskada genom ventilerad bädd av lättklinker.

I försöken ingick en gammal välhydratiserad betong som utsattes för vattenskada i form av vattenläckage. Tre liter vatten används vid simulering vilket motsvarade ca  $4,2 \text{ l/m}^2$ . Vattenläckaget simulerades genom att ett tunt lager fritt vatten fick stå på betongen i ca ett dygn. Betongen belades sedan med torr lättklinker (ca 0.15 m) och isolering. Lättklinkerns fuktkvot var  $u = 0.1 \%$ . Modellen byggdes upp som en avlång kanal (1.8 m lång, 0.4 m bred och 0.24 hög), tät mot långsidorna och ventilerades med hjälp av fläkt. Luftflödet kontrollerades och uttorkningen av betongen registrerades med hjälp av Vaisala fuktmätare som var inkopplade till en dator. Fyra stycken givare kopplades in i konstruktionen (två i betongen och två i bädd av lättklinker, se Fig. 5.1 och 5.2). Ytterligare två stycken givare, som avlästes manuellt kopplades in i lättklinkerbädden för att kontrollera RF i översta skiktet i bädden.



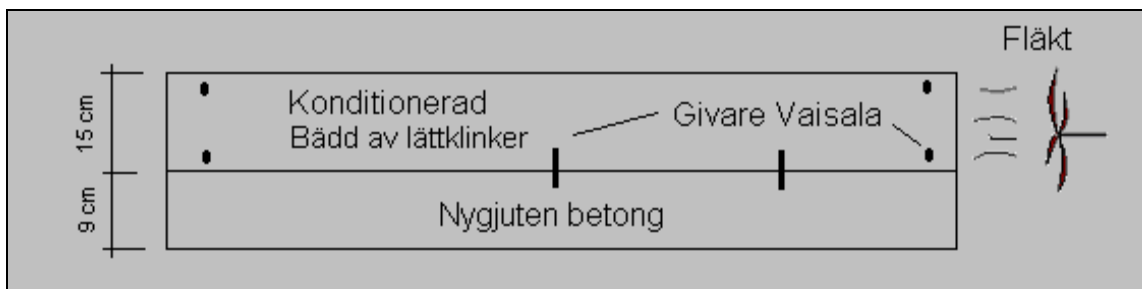
Figur 5.1. Bild på försöksuppställningen.



Figur 5.2. Principiell bild på försöksuppställning.

### 5.3 Uttorkning av nygjuten betong genom ventilerad bädd av lättklinker

Försöket gjordes i princip på samma sätt som föregående försök. En avlång kanal (1.80 m \* 0.4 m och 0.24 m hög), tät mot långsidorna ventilerades med hjälp av en fläkt, men med nygjuten betong. RF i betongen från början var 97 %. Försöket gick ut på att undersöka om uttorkning av nygjuten betong är möjlig genom en ventilerad lättklinkerbädd. Konditionerad lättklinker lades på den fuktiga betongen och konstruktionen omslöt. Lättklinker konditionerades genom att man sprejade vatten på klinkern med hjälp av en sprejflaska. Fuktkvoten i lättklinkern var ca  $u = 1.6 \%$  (100 % RF, se bilaga 3) vilket visade sig vara tillräckligt för att stoppa dammbildning vid läggningen. Mätgivare monterades enligt fig. 5.3, d.v.s. två stycken mätte RF i betongen och fyra stycken mätte RF i lättklinkerbädden, varav två i undre och två i övre skiktet.



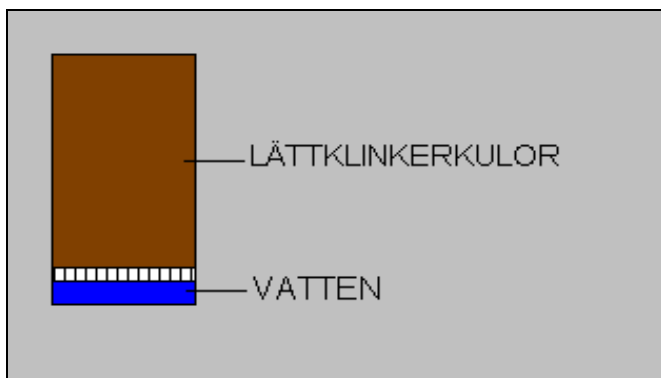
Figur 5.3. Principiell bild på försöksuppställning.

I experimentet ingick också att bestämma det påtvingade luftflödet som fördes genom lättklinkerbädden i detta samt i föregående försök. Fläktars inblåsningshastigheter varierade i dessa två experiment. I det första experimentet var fläkten betydligt starkare än i det andra. Detta gjordes för att undersöka om fläktarnas styrka påverkade uttorkningens hastighet. Luftflödena bestämdes genom att mäta utgående luftflödes hastigheter från kanaler fyllda med lättklinker med hjälp av en flödes hastighetsmätare. I experimentet antas att utgångsluftflödet är samma som luftflödet inne i kanalerna. Mätningarna gjordes i tre punkter av kanalernas tvärsnitt och sedan räknades medelhastigheten fram.



## 5.4 Fukttransport genom lättklinker

I försöket användes en glasbehållare med cylindrisk form (Fig. 5.4). I botten av behållaren fanns vatten och ovanpå lades lättklinkerkulor. Experimentet gick ut på att mäta viktminskningen och utifrån denna beräkna fukttransportkoefficienten för lättklinker. Behållaren förvarades i ett klimatrum där relativa fuktigheten och temperaturen var konstanta (RF 55 %, temp. 20°C). Vägning gjordes varje vecka vid bestämd tid.



Figur 5.4. Principiell bild på försöksupställning

## 5.5 Fuktabsorption i lättklinker

I försöket undersöktes lättklinkers uppsugningsförmåga genom att utsätta lättklinkerkulor för vatten. Under olika tidsintervaller utsattes kulorna för vatten och samtidigt mättes fuktkvoterna med hjälp av vägning. Fuktkvoten i kulorna ökar ju längre de är utsatta för vatten, d.v.s. vatten sugs in kulornas porsystem. Experimentet gick ut på att se hur snabbt fuktkvoten ökade med tiden.

## 5.6 Fuktabsorption i bädd av lättklinker från nygjuten betong

Nygjuten betong innebär en ca 5 veckor gammal husbyggnadsbetong. Betongen membranhärdades för att förhindra uttorkning och åstadkomma ett högt RF-värde. Dimensionerna på betongblocket var 0.5 m \* 0.3 m \* 0.09 m.



Figur 5.5. Bild av försöksupställningen samt principiell skis.

Detta belades sedan med torr lättklinker (ca 0,15 m) och plastfolie. När allting var omslutet och klart kunde omfördelning av fukten både med avseende på mängd och på tid mätas. Två stycken Vaisala Mätgivare användes. Experimentet gick ut på att ta reda på om lättklinkerkulor kunde ta åt sig det överskott av fukt som fanns i själva betongen (Fig. 5.5).

## 5.7 Fuktabsorption i gammal betong från fuktig lättklinker

Gammal betong innebar en uttorkad husbyggnadsbetong. Betongblocket hade samma dimensioner som betongblocket i föregående försök (0.5 m \* 0.3 m och 0.09 m). Lättklinker stoppades i vatten under tidsintervaller av 30 sekunder respektive en timme som gjorde att de fick olika fuktkvoter ( $u = 14\%$  resp.  $19.8\%$ ). Sedan lades lättklinkern på betongen och konstruktionen inneslöt med en plastfolie. Tjockleken på lättklinkerbädden var ca 0.15 m. Sidorna utgjordes av plywoodskivor och plastfolie. Därefter mättes omfördelningen av fukten både med avseende på mängd och på tid. Värderna på RF innan fuktig lättklinker hade lagts på betongen kan ses i bilaga 2.

Vid varje försöksupställning användes två stycken RF-givare som mätte förändring av RF i betongen respektive lättklinkerbädden. Givare borrades in i mitten av betongblocket och RF mättes på ett djup av 3.6 cm eller  $0.4 \cdot h$ . Givare som mätte RF i lättklinkerbädden sattes i mitten av bädden (Fig. 5.6). Från försöken ville man bedöma om den gamla betongen hade en tillräckligt stor kapacitet att ta åt sig fukten från fuktiga lättklinkerkulor.



Figur 5.6. Verklig och principiell bild på försöksupställning

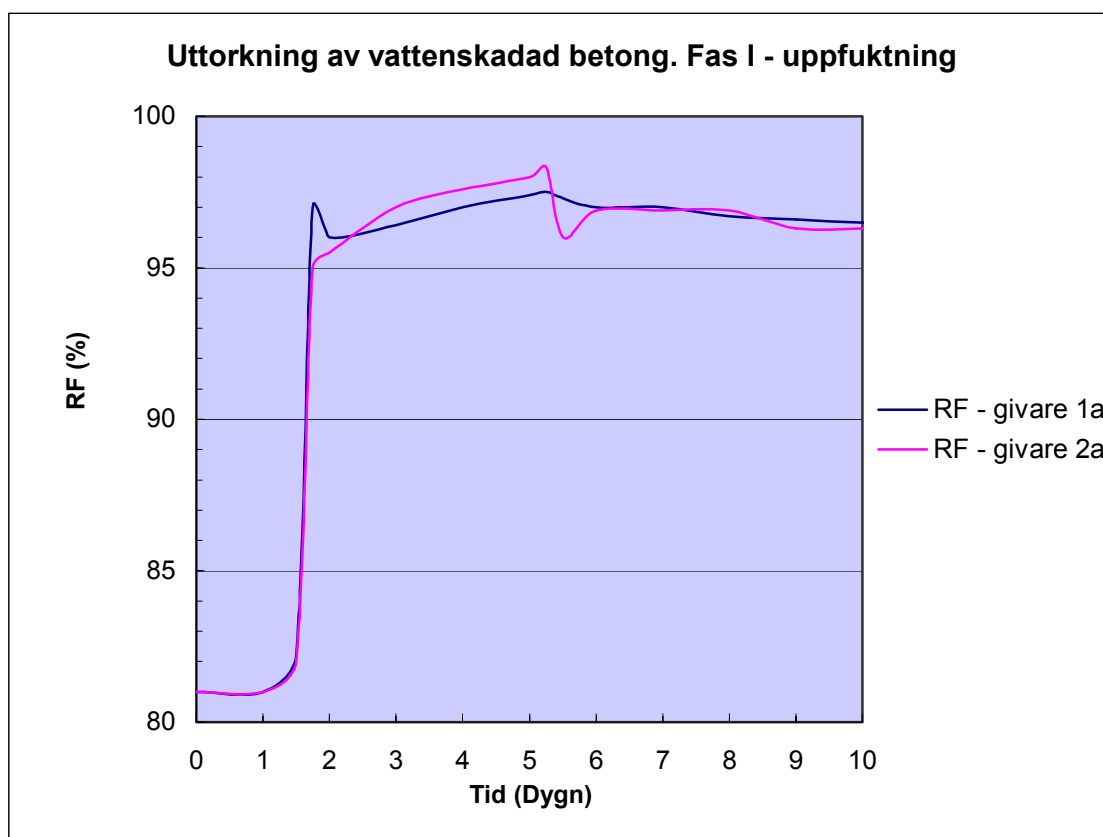
## 6. Resultat och utvärdering

### 6.1 Allmänt

Mätvärdena som ligger till grund för alla nedanstående diagram återfinns i bilaga 2. Det som undersöktes var ökningen och sänkningen av RF-värdena i material samt materialens fuktkvot.

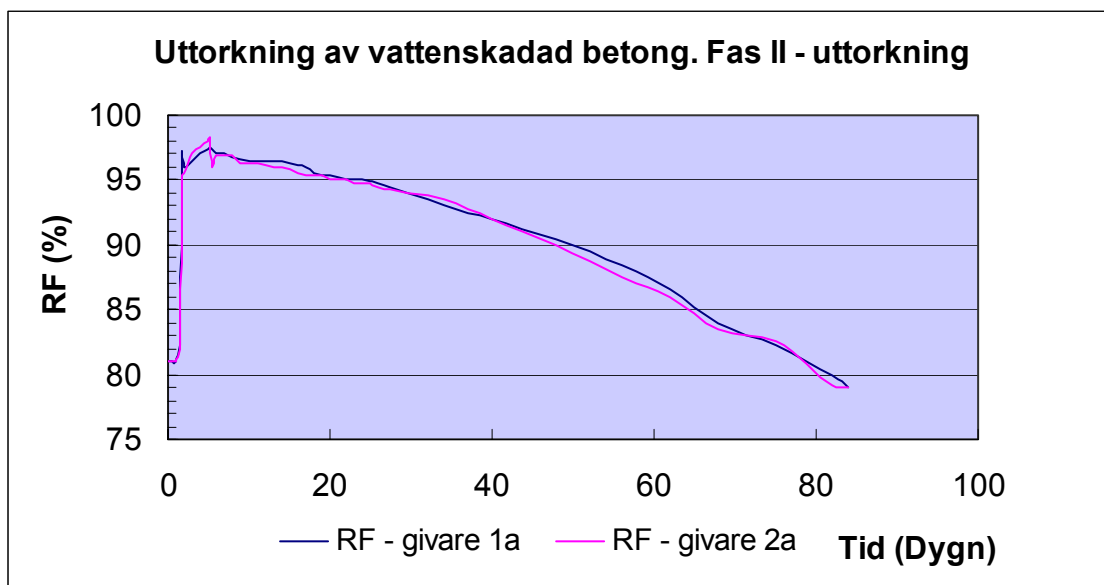
### 6.2 Uttorkning av vattenskadad betong genom ventilerad bädd av lättklinker

I figur 6.1 kan man se uppfuktning- och uttorkningsförlopp hos vattenskadad betong. I första delen av figur 6.1 syns en höjning av betongens RF då man utsätter betongen för vattenskadan. Betongens RF stiger snabbt. På en dag steg RF från 81 % till 97 % på mätdjup av 3.6 cm (dvs. 40 % av djupet). Sedan stabiliserar sig RF. Femte dygnet påbörjas uttorkning med fläkt. Uttorkningen sker med hjälp av en fläkt som blåser luft genom lättklinkerbädden och på så sätt torkar ut betongen.



Figur 6.1. Uppfuktning av betong. RF-värden under de första 10 dyggen.

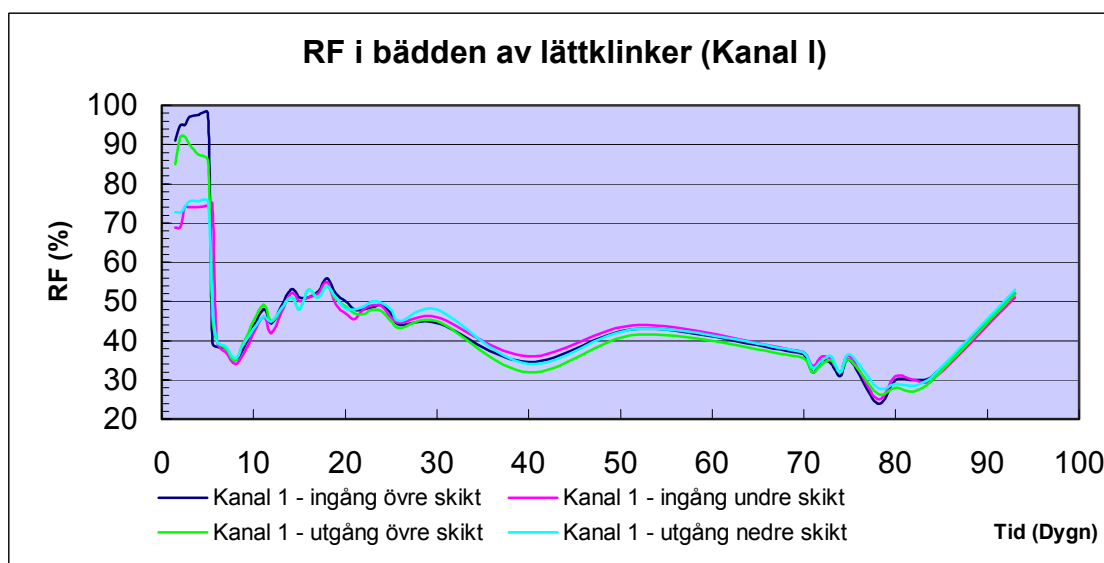
I figur 6.2 fortsätter vi följa betongens uttorkning med två RF-givare. Den ena är monterad i början av kanalen och den andra i mitten av kanalen (se Fig. 5.2). Båda givarna visar nästan identisk uttorkning vilket kan tolkas som att uttorkningen är likadan i mitten som i början av kanalen. Efter ca 80 dygn nås det ursprungliga RF (80 %) som betongen hade innan den utsattes för vattenskadesimuleringen.



Figur 6.2. Sammanställning av uppmätt RF i betong vid uttorkning av vattenskada.

Med hjälp av fig. 2.3 beräknades den vattenmängd som avdunstade från betongen. Den beräknade vattenmängden var 2.9 liter och stämde ganska bra överens med den verkliga mängden vatten som användes i försöket (3 lit). Genomsnittliga uttorkningshastigheten beräknades till ca 50 g fukt / (m<sup>2</sup> \* dygn). Jämför man det med luftflödet i kanalen per dygn (se 6.3 sid. 31) så kan man säga att per m<sup>3</sup> luft avdunstas ca 0.026 g fukt. Det motsvarar en RF ökning på 0.15 % vid 20 °C. För beräkningar se bilaga 5.

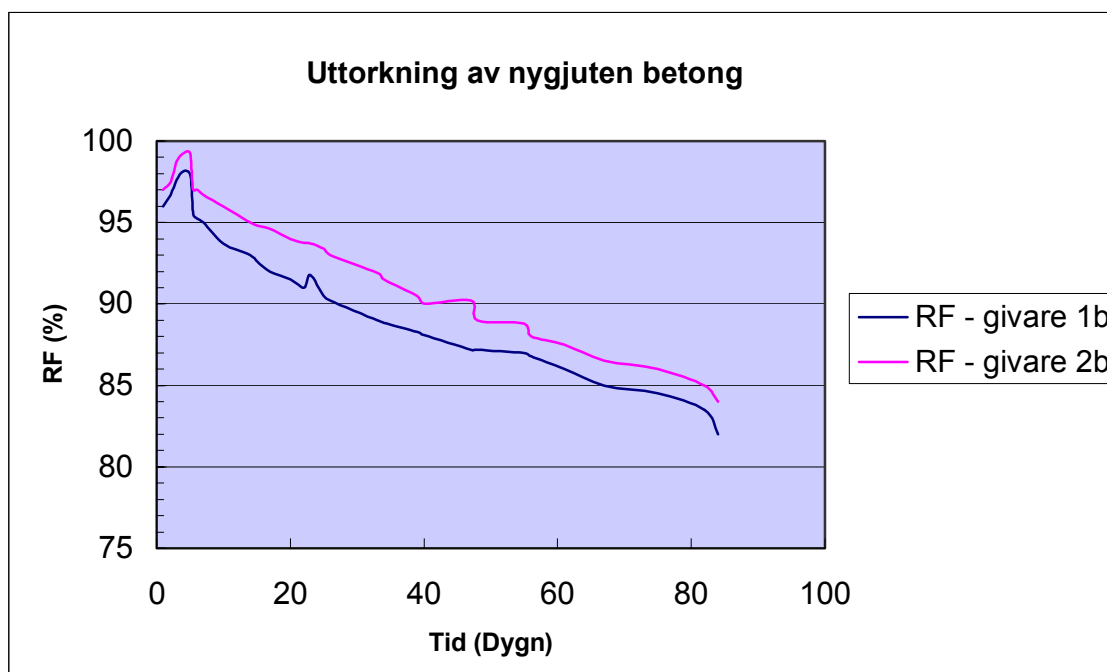
Genom bädden blåstes luft vars RF varierade mellan 30 och 60 % beroende på temperaturen och den RF som var aktuell i försöksrummet, (Fig. 6.3). Luftens RF måste alltid vara lägre än betongens för att uttorkning ska ske. På det sättet åstadkoms en potential d.v.s. balansen störs mellan betong och lättklinkerbädd och fukt börjar röra sig mot områden med lägre RF. I detta fall var det fukt från betongen som rörde sig mot bädden. Det framgår från figur 6.3 att RF är likadant i hela bädden. Detta innebär att fukten från betongen var så liten att den inte påverkade RF i luften nämnvärt. I början har skikten i bädden olika RF men de jämnas ut när fläktarna sätts igång.



Figur 6.3. Sammanställning av RF värden i lättklinkerbädden. Kanal 1.

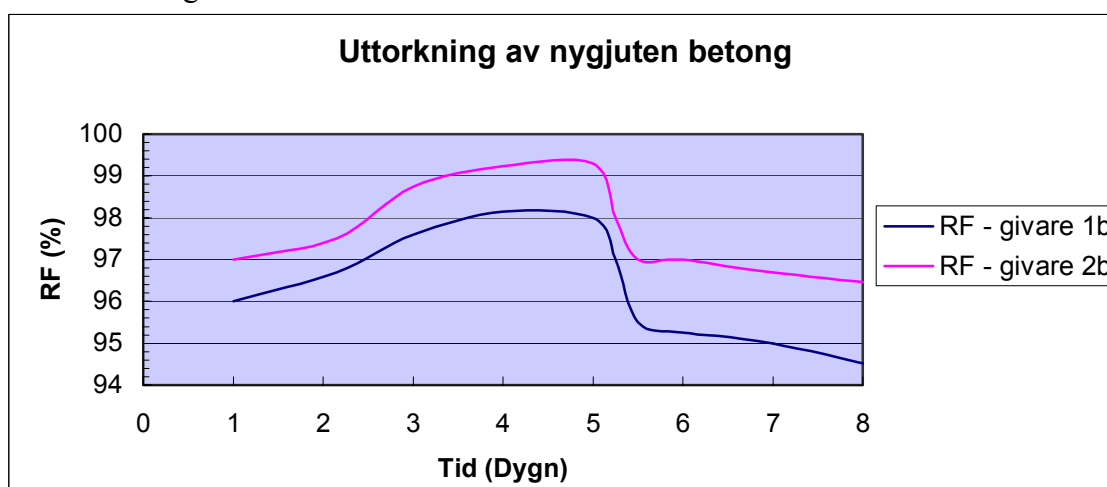
### 6.3 Uttorkning av nygjuten betong genom ventilerad bädd av lättklinker

Detta försök påminner ganska mycket om det förra. Principen är densamma fast här användes nygjuten betong vars RF låg kring 96 % och i stället för torr används konditionerad lättklinker med en medelfuktkvot på  $u = 1.6$  %. Uttorkningen påbörjades femte dygnet efter läggning av lättklinkerbädd. Lutningen på uttorkningen var konstant nästan hela tiden, med små avvikelser. Efter ca 80 dagar var betongens RF nere vid 85 % (Fig. 6.4).



Figur 6.4. Sammanställning av uttorkningsprocessen av nygjuten betong i kanal 2.

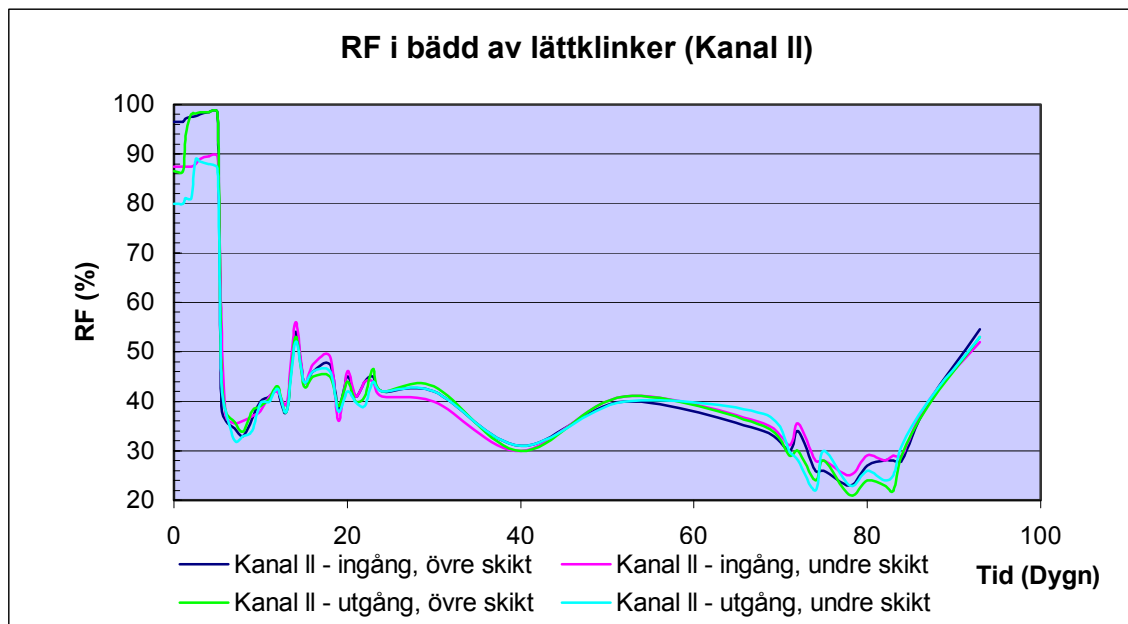
Om man studerar resultaten i figur 6.5 så ser man att i första fasen innan torkningen startades steg RF i betongen på grund av de konditionerade lättklinkerkulorna som lades på den. Alltså, betongen tog åt sig fukt från lättklinker även om fuktkvoten var liten (Fig. 6.5). Det som är intressant här är att betongens RF stabiliserar efter några dygn. D.v.s. om fuktkvoten i kulorna är liten och mycket mindre än betongens fuktkapacitet kommer betongen snabbt i balans.



Figur 6.5. Stigning av betongens RF p.g.a. den konditionerade lättklinkern.

Med hjälp av fig. 2.3 beräknades den vattenmängd som avdunstade från betongen. Den beräknade vattenmängden var 2.5 liter. Uttorkningshastigheten beräknades till ca 41 g / (m<sup>2</sup> \* dygn). Jämför man det med luftflödet per dygn (se 6.3 sid. 31) kan man säga att per m<sup>3</sup> luft avdunstades ca 0.070 g fukt. Det motsvarar en RF ökning på 0.4 % vid 20 °C. För beräkningar se bilaga 5.

Jämför vi figur 6.6 med figur 6.3 så är dessa väldigt lika. Det är p.g.a. att luften som blåstes i kanalerna var rumsluft. Inte heller här finns det större skillnader i bäddens RF.



Figur 6.6. Sammanställning av RF värden i lättklinkerbädden. Kanal 2.

I försöket ingick också att bestämma medelhastigheten för luftflödet i kanal 1 och 2. Med hjälp av lufthastighetsmätare mättes kanalernas utgångsluftflödes hastigheter. Mätningarna gjordes i tre punkter av kanalernas tvärsnitt och sedan beräknades medelhastigheten. Fläktarna i försöken skiljde sig i styrkan. Fläkten i kanal 1 var starkare än fläkten i kanal 2.

Kanal 1. Utgångshastigheter

Punkt				
1	25,27	28,25	29,75	31
2	8	7	9	16,75
3	21,75	27,2	31	16

20,9 m/min      0,348 m/sek

Kanal 2. Utgångshastigheter.

Punkt					
1	7	7,5	9	9,75	8,25
2	4,75	3,2	2,9	3	2,9
3	7,5	8	9	7,8	9,7

6,68 m/min      0,11 m/sek

Kanal 1: luftmedelhastighet = 0.348 m/sek.

Luftflöde q<sub>1</sub> = 1804.5 m<sup>3</sup>/dygn.

Kanal 2: luftmedelhastighet = 0.111 m/sek.

Luftflöde q<sub>1</sub> = 570.2 m<sup>3</sup>/dygn.

Lättklinkerkulor utgör ett motstånd för luftflöde, men samtidigt behåller de luftens RF d.v.s. RF som blåses in. På det sättet åstadkoms skillnad i betongens och lättklinkers RF och uttorkning sker.

Om man jämför resultaten från föregående och detta försök och tar hänsyn till hur mycket fukt som avdunstade per m<sup>3</sup> så inser man att styrkan på fläktarna i detta fall inte har stor betydelse för uttorkningen. Nämligen, den starkare fläkten avdunstar 0.026 g fukt per m<sup>3</sup> luft medan den svagare avdunstar 0.07 g per m<sup>3</sup> luft. Alltså lufthastigheten i kanalen påverkar inte direkt uttorkningshastigheten hos betongen. Det som mest påverkar uttorkningshastigheten är skillnaden i RF mellan lättklinkerbädden och betongen.

#### 6.4 Fukttransport genom lättklinker

Detta experiment gick ut på att bestämma fukttransportkoefficienten  $\delta$  genom en bädd av lättklinker (12-20 mm). Det som mättes var avdunstat vatten från behållaren (Fig. 5.4) Uttorkningen följdes under sex veckor. Behållare stod i ett klimatrum där RF var 55 % och temperaturen var 20°C.

Mätning	Behållare (g)	Avdunstat vatten (g)
1	3160	
		10
2	3150	
		13
3	3137	
		12
4	3125	
		13
5	3112	
		9
6	3103	
		9
	3094	

**Mätning av fukttransport genom lättklinker.**

Medelavdunstningen av vatten är 11 g per vecka. Arean eller bassidan av behållaren är  $A = 0.01473 \text{ m}^2$ .

$$\begin{array}{ll}
 RF_{ute} \text{ 55 \%} & v_{ute} = 9.5 \text{ g/m}^3 \\
 RF_{inne} \text{ 100 \%} & v_{inne} = 17.28 \text{ g/m}^3 \\
 \text{Temperatur} = 20 \text{ }^\circ\text{C} & dx = 0.26 \text{ m}
 \end{array}$$

$$q_f \left( \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right) = -\delta \cdot \frac{dv}{dx} \quad \rightarrow \quad \frac{11}{0.01473 \cdot (7 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)} = -\delta \cdot \left( \frac{17.28 - 9.5}{0.26} \right)$$

$$\rightarrow \quad \delta = 4.28 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

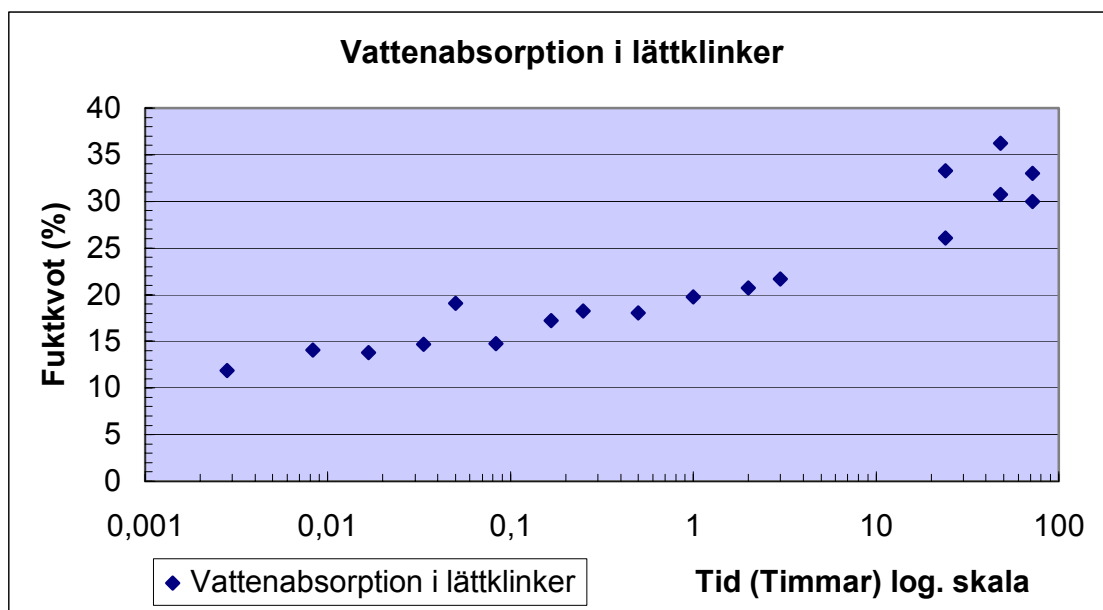
Fukttransportkoefficient bestämdes till  $\delta = 4.3 \cdot 10^{-5} m^2 / s$  vid RF 55 – 100 %.

Jämför man det med stillastående luft vars  $\delta = 25 \cdot 10^{-6} m^2 / s$  så kan man konstatera att resultatet är alltför högt och att detta värde  $\delta = 4.3 \cdot 10^{-5} m^2 / s$  borde ha varit mindre. En av orsaker till avvikande resultat kan vara att det har förekommit kapillär sugning i lättklinker. En annan orsak kan vara att lufthastigheten ovanför provet var för hög och att detta medförde konvektion inne i behållaren.

## 6.5. Vattenabsorption i lättklinker

I figur 6.7 redovisas hur snabbt lättklinker suger åt sig vatten. Det syns tydligt att lättklinker tar snabbt åt sig fukt så fort den kommer i kontakt med vatten (se bilaga. 4). Stora mängder vatten sugas då in i kulorna. Insugningsförmågan är stor i början men efter några minuter börja den avta då större delen av porsystemet är fyllt. Detta försök visar att lättklinkerkulor som ska användas i fuktkänsliga konstruktioner inte bör utsättas för fritt vatten.

Använder man logaritmisk skala på x-axeln (tidsaxel) får man bättre överblick över vattenuppsugningen i lättklinkerkulor (Fig. 6.7).

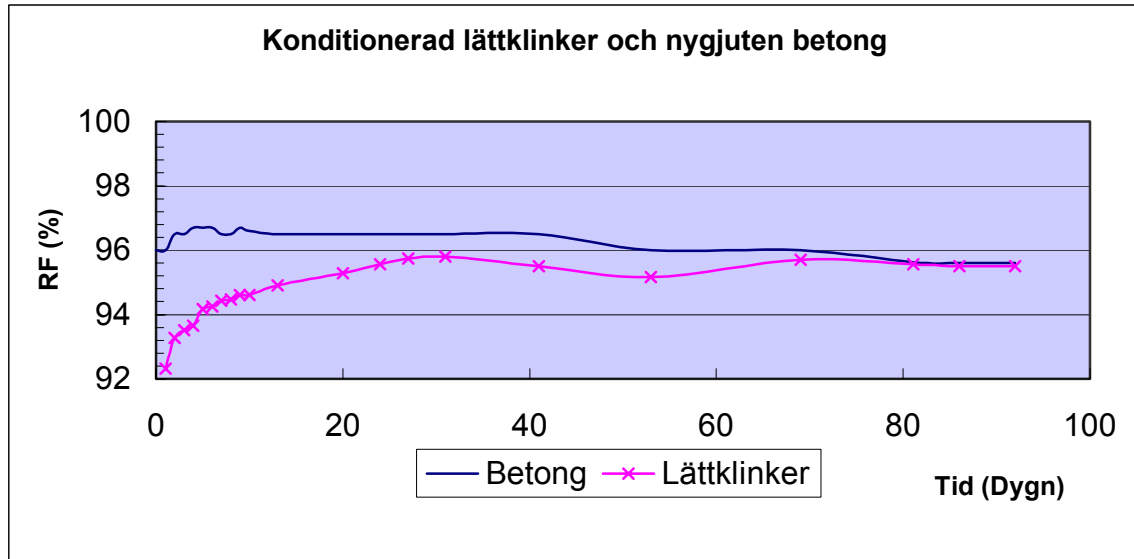


Figur 6.7. Vattenabsorption i lättklinker med logaritmisk skala på x-axeln.



## 6.6 Fuktabsorption i bädd av lättklinker från nygjuten betong

I detta försök undersöktes om torr lättklinker har kapacitet att ta åt sig fukt från den fuktiga betongen (RF 96 %). Figur 6.7 visar att lättklinker inte tar åt sig särskilt mycket fukt från betongen. Det som händer är att RF i lättklinkerbädden och betongen kommer i balans med tiden.



Figur 6.7. Sammanställning av uppmätt RF i betong och lättklinker mätt på ett djup av  $0.4 \cdot h$  (3.6 cm).

Det sker inget större fuktutbyte p.g.a. att lättklinkers hygroskopiska förmåga är liten. Gör man en teoretisk beräkning med hjälp av lättklinkerns sorptionsisotermen (bilaga 3) och räknar ut fukthalten så bekräftas resultatet från figuren 6.7.

Innan lättklinker läggs på den nygjutna betongen:

$$\rho = 260 \text{ kg/m}^3$$

$$u = 0.1 \text{ \%}$$

$$w = \rho \cdot u = 260 \cdot 0.1 / 100 = 0.26 \text{ kg/m}^3.$$

Efter ca 90 dygn, då lättklinkerkulorna är i fuktbalans med betongen:

$$\rho = 260 \text{ kg/m}^3$$

$$u = 0.25 \text{ \%}$$

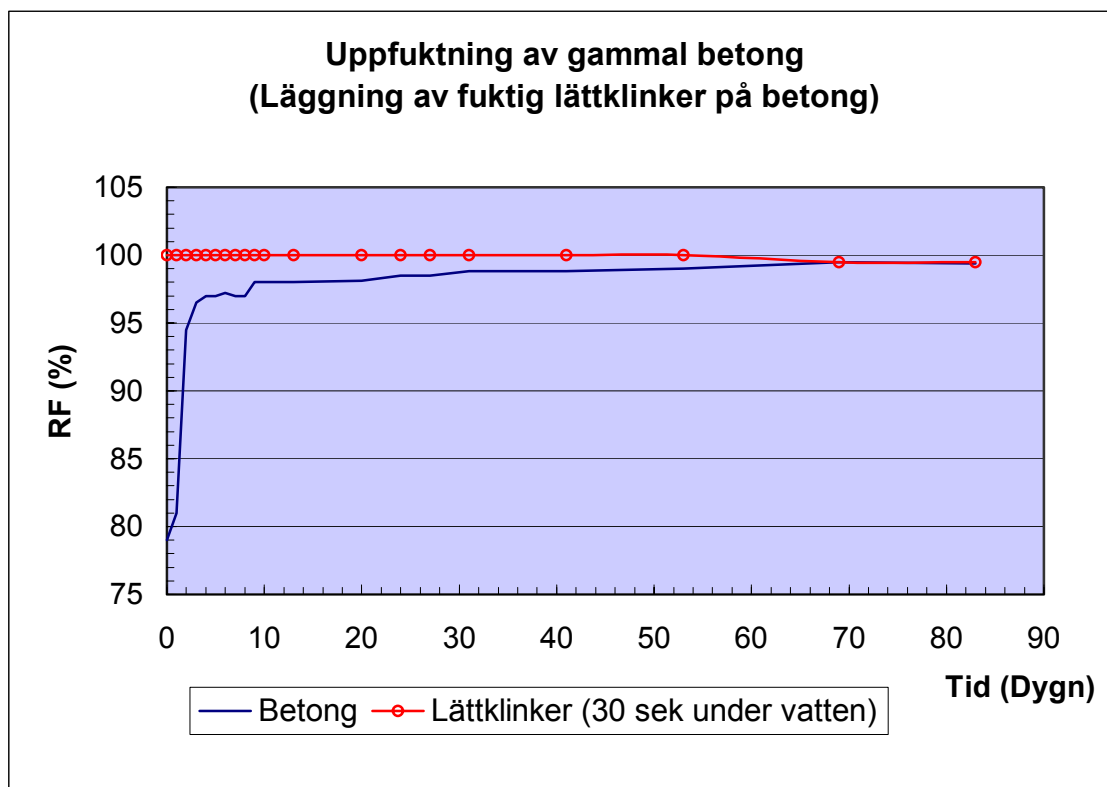
$$w = \rho \cdot u = 260 \cdot 0.25 / 100 = 0.65 \text{ kg/m}^3.$$

Skillnaden mellan den ursprungliga och den nya fukthalten blir bara  $0.65 - 0.26 = 0.39$  kg per  $\text{m}^3$  lättklinker.

## 6.7 Fuktabsorption i gammal betong från fuktig bädd av lättklinker

I detta försök användes två försöksuppställningar där det skulle undersökas om gammal betong med ca 80 % RF har tillräckligt stor kapacitet att ta åt sig fukt från fuktig lättklinker som läggs på den.

I försök 1 uppfuktades lättklinkerkulor genom att man sänkte kulorna i vatten under 30 sekunder. Fuktkvoten i kulorna motsvarar då ca  $u = 14\%$  vilket motsvarar ett RF av 100 %. Betongens RF från början är 79 %. Efter läggning av fuktig lättklinker stiger RF till 99 % med tiden.

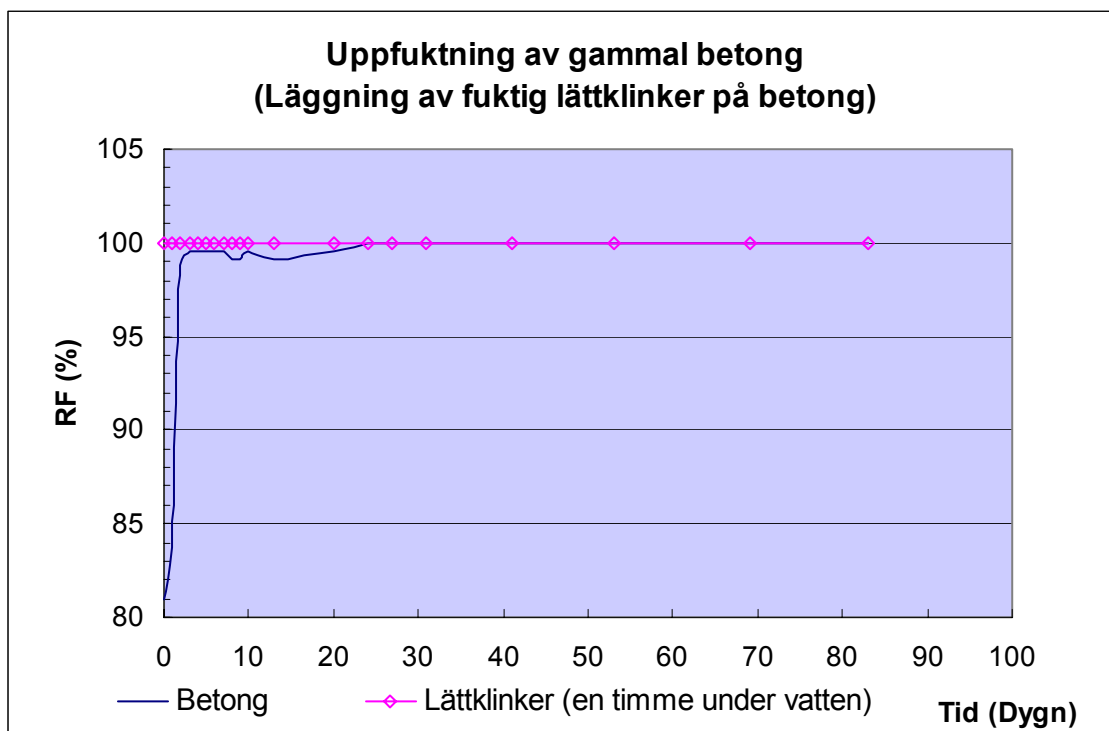


Figur 6.8. Sammanställning av uppmätt RF i betong och lättklinker i försök 1 mätt på ett djup av  $0.4 \cdot h$  (3.6 cm).

Resultaten visar att betongen tar åt sig fukt från lättklinker väldigt lätt och relativt snabbt. Under de första fyra dyggen syns en markant ökning av betongens RF som med tiden långsamt börjar avta för att till slut komma i balans med RF i bädden (Fig.6.8).

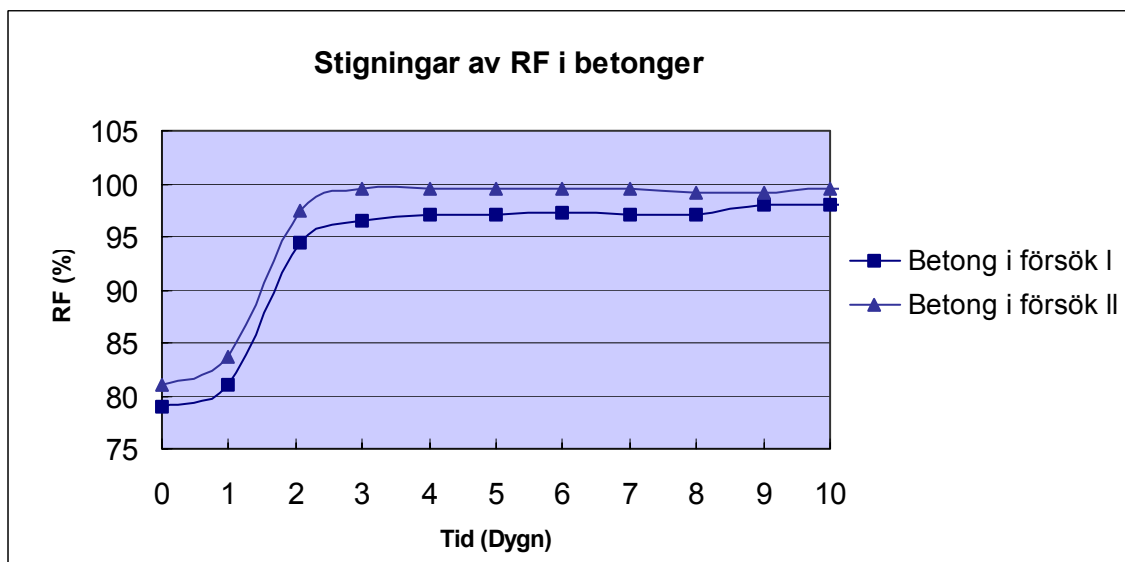
Betongen har precis tillräckligt med kapacitet att ta emot fukt från lättklinkern men hamnar då i ett farligt fukttillstånd. Man ser att redan efter en dag är betongens RF över gränsen för kritiska fukttillståndet där de flesta material kan få fuktskador (85 – 90 % RF). Mängden absorberat vatten i betongblocket beräknades med hjälp av fig. 2.3 till ca 1.34 liter vilket motsvarar ca 9 liter per  $m^2$  betong (se Bilaga 5).

I försök 2 uppfuktas lättklinker på samma sätt som i försök 1 fast kulorna är under vattnet i en timme. Fuktkvoten blir då ca  $u = 19.8\%$  (RF 100 %). Samma slutledning kan tas fram som i första försöket. RF i betongen stiger och kommer med tiden i balans med kulornas RF (Fig. 6.9). Mängden absorberat vatten beräknades med hjälp av fig. 2.3 till ca 1.43 liter vilket motsvarar ca 9.5 liter per  $m^2$  (Bilaga 5).



Figur 6.9. Sammanställning av uppmätt RF i betong och lättklinker i försök 2 mätt på ett djup av  $0.4 \cdot h$  (3.6 cm).

Om dessa två försök jämförs så ser man att kurvornas lutningar är lika branta (Fig. 6.10) vilket betyder att fuktabsorptionen är samma i bägge fall oavsett mängden vatten. Fuktabsorption avtar då fuktkapacitet i betongen är utnyttjad (försök 2) eller tills vatten börjar tar slut (försök 1).



Figur 6.10. Uppmätta RF värden för betong från försök 1 och 2 första 10 dygn.

Genom beräkningar (Bilaga 5) undersöktes hur stor mängd fukt får lättklinker innehålla då den läggs på en väluttorkad betong (tjocklek 0.18 m) med 70 % RF utan att betongens RF därefter överskrider 90 % rf. Beräkningarna visade att en bädd av lättklinker (tjocklek 0.15 m) får innehålla 2.14 kg vatten per  $m^2$  som motsvarar en fuktkvot på ca 5.5 %.

## 7. SLUTSATSER

Om det uppstår fuktskador i ett golv eller bjälklag p.g.a. vattenläckage kan man med hjälp av fläktar effektivt torka ut betongen från överflödigt vatten om lättklinker finns i installationsskiktet. Med hjälp av fläktar blåses luft igenom lättklinkerbädden. På detta sätt kan man åtgärda fuktskador i gamla konstruktioner utan att behöva sanera mycket, förutsatt att fuktskadan upptäcks i tid.

På samma sätt kan man torka ut även nygjuten betong. Processen kan gå fort om man har tillgång till varm och torr luft. Styrkan på fläktarna har ingen större betydelse för uttorkningshastigheten. Lättklinker gör större motstånd mot luftflöde ju mindre kulfraktionerna är. På så sätt kan uttorkningstiden förlängas. Detta bör beaktas vid användning av fraktioner mindre än 12 mm om uttorkning sker med hjälp av fläktar.

Från det sista experimentet kan man dra slutsatsen att man inte bör utsätta lättklinker för fritt vatten för att hindra dammbildning vid lagring. Även om man doppar kulorna i vatten under kort tid (30 sek) tar de åt sig mycket vatten. Fuktkvoten hos lättklinker blir stor och det gör att betong med 80 % RF inte har tillräcklig stor fuktkapacitet för att absorbera fukten. Tittar man på lättklinkers sorptionskurva (Bilaga 3) ser man att 100 % RF fås redan vid fuktkvot  $u = 1.5$ . Materialet tar väldigt lätt upp fukt om det utsätts för fritt vatten.

Om man vill doppa lättklinkerkulor i vatten för att hindra damning bör man se till att betongen är väldigt torr och har tillräckligt stor fuktkapacitet. Det att man inte bör lägga vattenmättad lättklinker på betong betyder inte att det nödvändigt kommer att leda till någon sort av fuktskada. Det man måste tänka på är att börjar med betongens uttorkning direkt efter lagringen av den våta lättklinkern. Helst ska det vara en betongsort med lågt vct och uttorkningsförhållandena ska vara bra så att fukt inte stängs in. Ett effektivt alternativ kan vara uttorkning med hjälp av fläktar och torr, varm luft.

Vill man konditionera lättklinker genom att förvara materialet i ett klimat med högt RF så tar lättklinkerkulor inte åt sig mycket fukt. Detta beror på att hygroskopiska fuktkapaciteten hos lättklinkerkulor är liten. Istället kan man konditionera lättklinker genom att spreja små droppar vatten på kulorna. På det sättet stannar vattnet på kulornas skal och förhindrar damning. P.g.a. små mängder vatten stiger inte kulornas fuktkvot mycket.

Det bästa metoden att bli av med överflödigt damm som produceras då lättklinkerkulor läggs på golv och bjälklag är alltså att konditionera kulorna genom att spreja vatten på dem. På det sättet tar inte kulorna åt sig mycket vatten som i sin tur betyder att de senare inte kan avge mycket vatten. Vid den typen av konditionering blir fuktkvoten liten, så att lättklinker lämpar sig för lagring på vilken betong som helst och man behöver inte bekymra sig för om betongens fuktkapacitet räcker. Dessutom torkar den lilla mängden fukt väldigt snabbt från lättklinker speciellt om fläktar används vid uttorkningen.

## Referenser:

- [1] "Betonghandbok – Material", utgåva 2, Svensk Byggtjänst och Cementa AB 1994  
Kapitel 14, "Fukt i betong" av Lars-Olof Nilsson
- [2] "Betonghandbok – Material", utgåva 2, Svensk Byggtjänst och Cementa AB 1994.  
Kapitel 10, "Struktur och strukturutveckling" av Göran Fagerlund
- [3] "Fukthandbok – praktik och teori", utgåva 2, Svensk Byggtjänst 1994  
av Lars Erik Nevander och Bengt Elmarsson
- [4] "Kompendium i Byggnadsmaterial FK – vol. 1", Avd. byggnadsmaterial LTH 2002, av Göran Fagerlund.
- [5] "Kompendium i Byggnadsmaterial FK – vol. 2", Avd. byggnadsmaterial LTH 2002, av Göran Fagerlund.
- [6] "Manual, Fuktmätning i betong", Rådet för byggkompetens, bilaga 1, Stockholm 2002
- [7] "Byggnadsmaterial – uppbyggnad, tillverkning och egenskaper", Studentlitteratur, av Per Gunnar Burström, 2001.
- [8] [www.vaisala.com](http://www.vaisala.com)
- [9] "Inverkan av regn och avjämningsmassa på uttorkning av betong", Examensarbete av Andreas Abrahamsson, Kristian Tammo, Avd. BML LTH 2003
- [10] "LECA lättklinker–egenskapsredovisning" BSAB K, BBR kap 3, 7, 1998.
- [11] [www.betongbanken.com](http://www.betongbanken.com)
- [12] [www.leca.se](http://www.leca.se)
- [13] "Betong för sunda golv – fuktdimensionering, materialval, produktion" Betongrapport nr 6, Svenska Betongföreningen 1997.
- [12] "Fuktsäkerhet i byggnader - Materialdata för fukttransportberäkningar", Byggnadsforskningsrådet, Göran Hedenblad, 1996.

# **BILAGOR**

## Bilaga 1.

Recept för betong (vct 0,70) som används i försöken:

Volym = 1 m<sup>3</sup>

• Cement	297 kg
• Vatten	195 kg
• Grus (0-8)	935 kg
• Sten (8-12 : 12-16)	934 kg
-----	
• Total vikt	2361 kg

Verkliga recept för första gjutetappen:

Volym = 0,125 m<sup>3</sup>

• Cement	34,875 kg
• Vatten	24,260 kg
• Grus (0-8)	117,19 kg
• Sten (8-12)	58,375 kg
• Sten (12-16)	58,375 kg
-----	
• Total vikt	293,075 kg

Verkliga recept för andra gjutetappen:

Volym = 0,100 m<sup>3</sup>

• Cement	29,700 kg
• Vatten	18,510 kg
• Grus (0-8)	94,490 kg
• Sten (8-12)	46,700 kg
• Sten (12-16)	46,700 kg
-----	
• Total vikt	236,100 kg

För blandning av betong användes betongblandare av typen ”tvångsblandare”.(se bilden nedan).



För vibrering av betongblock användes vibreringsbord och i de fall där betongkanaler skulle vibreras användes vibreringsstav.  
Uttorkningen av alla betongkroppar skedde i rumsklimat.



## Bilaga 2 – mätvärden från samtliga experiment.

### 1. Uttorkning av vattenskadad betong genom ventilerad bädd av lättklinker

RF i vattenskadad betong före och under torkningen

Tid (Dygn)	RF i btg. - givare 1 (%)	RF i btg. - givare 2 (%)
0	81	81
1	81	81
1,5	82,2	82
1,75	97	95
2	96	95,5
3	96,4	97
4	97	97,6
5	97,4	98
5,25	97,5	98,3
5,5	97,3	96
6	97	96,9
7	97	96,9
8	96,7	96,9
9	96,6	96,3
10	96,5	96,3
11	96,5	96,3
12	96,5	96,2
13	96,4	96
14	96,4	96
15	96,3	95,8
16	96,15	95,6
17	96	95,3
18	95,6	95,3
19	95,4	95,3
20	95,3	95,1
21	95,2	95,1
22	95,1	95
23	95	94,8
24	95	94,8
25	94,9	94,8
26	94,8	94,5
34	93	93,5
40	92	91,9
48	90,5	90
56	88,5	87,5
62	86,5	86
68	84	83,5
75	82,2	82,5
82	80	79,2
84	79	79

Lättklinkerbäddens RF i kanal 1.

Tid (Dygn)	Ingång – RF i övre skikt (%)	Ingång – RF i undre skikt (%)	Utgång – RF i övre skikt (%)	Utgång – RF i undre skikt (%)
0	85,5	68,9	74	72,8
1	85,5	68,8	74	73
1,25	88	68,9	75	72,8
1,5	91	68,8	85	72,8
2	95	68,9	92	72,8
2,5	95	74	92	74
3	97	74	90	75,5
4	97,5	74	87,5	75,5
5	98	74,5	86	75,5
5,5	39,5	75	46,5	50
6	38,5	40	40	40
7	38	37	38	38,5
8	35	34	35	35,5
9	38,5	37	40	39,5
11	48	46	49	46
12	44,5	42	45	45
14	53	52	51	51
15	51	50	48	48
16	51	51	53	53
17	52,5	52	51	51
18	56	55	54	54
19	52	49,3	50,7	51
20	50	47	48,7	48,3
21	48	45,5	47	48
22	48	48	46,8	48,7
23	48,5	49,1	48	50
24	49	48,8	47,5	49,6
25	47	46	45	48
26	44	44,5	43,2	45
30	44,5	46	45	48
40	34,5	36	32	34
52	43	44	41,5	43
68	37,5	38	36,5	38
70	36,5	37	35,5	36,75
71	32	33,5	32	33
72	35	36	34	35
73	34	35	35	36
74	31	32	32	32
75	35	36	35	36,5
78	24	25	26,5	28
80	30	31	28	29
82	30	30	27	28,5
84	31	30	30	31
93	52	51	52	53

## 2. Uttorkning av nygjuten betong genom ventilerad bädd av lättklinker

RF i nygjuten betong före och under torkningen

Tid (Dygn)	RF i btg. – givare 1 (%)	RF i btg. – givare 2 (%)
1	96	97
2	96,7	97,5
3	97,6	98,74
4	98,15	99,24
5	98	99,3
5,25	97	98
5,5	95,5	97
6	95,25	97
7	95	96,7
10	93,7	96
14	93	95
15	92,6	94,8
17	92	94,6
20	91,5	94
22	91	93,75
23	91,8	93,7
25	90,5	93,4
26	90,2	93
33	89	91,9
34	88,85	91,5
39	88,3	90,5
40	88,1	90
47	87,2	90,2
48	87,2	89
55	87	88,8
56	86,8	88
61	86	87,5
67	85	86,5
75	84,5	86
82	83,5	85
84	82	84

Lättklinkerbäddens RF i kanal 2

Tid (Dygn)	Ingång – RF i övre skikt (%)	Ingång – RF i undre skikt (%)	Utgång – RF i övre skikt (%)	Utgång – RF i undre skikt (%)
0	96,5	87,5	86,5	80
1	96,5	87,5	86,5	80
1,25	97	87,5	92	81
1,5	97,25	87,5	95	81
2	97,5	87,5	98	81
2,5	97,7	88	98,2	89
3	98	89	98,5	88,5
4	98,5	89,5	98,5	88
5	98,5	89,5	98,5	87
5,5	39	57	46	44
6	36	37	38	38
7	34,5	35,5	35,8	32
8	33	36	33,8	33
9	36,5	37	38	34
10	40	38	39	39,5
11	41	41	40,5	40
12	42	42	43	42,5
13	38	39,5	38	38
14	54	56	53	52
15	44	44	43	44
16	46	47,5	45	46
18	47,5	49	45	46
19	38,5	36	39	38
20	45	46	44	42
21	41	41	40	39,8
22	44	44	41	39
23	45	44	46,5	44
24	42	41	42	42
30	42	40	43	42
40	31	30	30	31
52	40	41	41	40
68	34	35,5	35	37,5
71	30	31,1	29	30
72	34	35,5	30	28
74	26	28	24	22
75	26	28	28	30
78	23	25	21	23
80	27	29	24	26
82	28	28	23	24
83	28	29	22	25
84	28	29	29	31
87	39,5	40	39	40
93	54,5	52	53	53

### 3. Uttorkning av nygjuten betong genom bädd av lättklinker

Tid (Dygn)	RF i betong (%)	RF i lättklinker (%)
0	96	
1	96	92,3
2	96,5	93,3
3	96,5	93,5
4	96,7	93,7
5	96,7	94,2
6	96,7	94,2
7	96,5	94,4
8	96,5	94,5
9	96,7	94,6
10	96,6	94,6
13	96,5	94,9
20	96,5	95,3
24	96,5	95,6
27	96,5	95,75
31	96,5	95,8
41	96,5	95,5
53	96	95,2
69	96	95,7
81,1	95,63	95,6
86	95,6	95,5
92	95,6	95,5

#### 4. Fuktabsorption i gammal betong från fuktig bädd av lättklinker

Försök 1.

Tid (Dygn)	RF i betong (%)	RF i lättklinker (%)
0	79	100
1	81	100
2	94,5	100
3	96,5	100
4	97	100
5	97	100
6	97,2	100
7	97	100
8	97	100
9	98	100
10	98	100
13	98	100
20	98,1	100
24	98,5	100
27	98,5	100
31	98,8	100
41	98,8	100
53	99	100
69	99,5	99,5
83	99,4	99,5

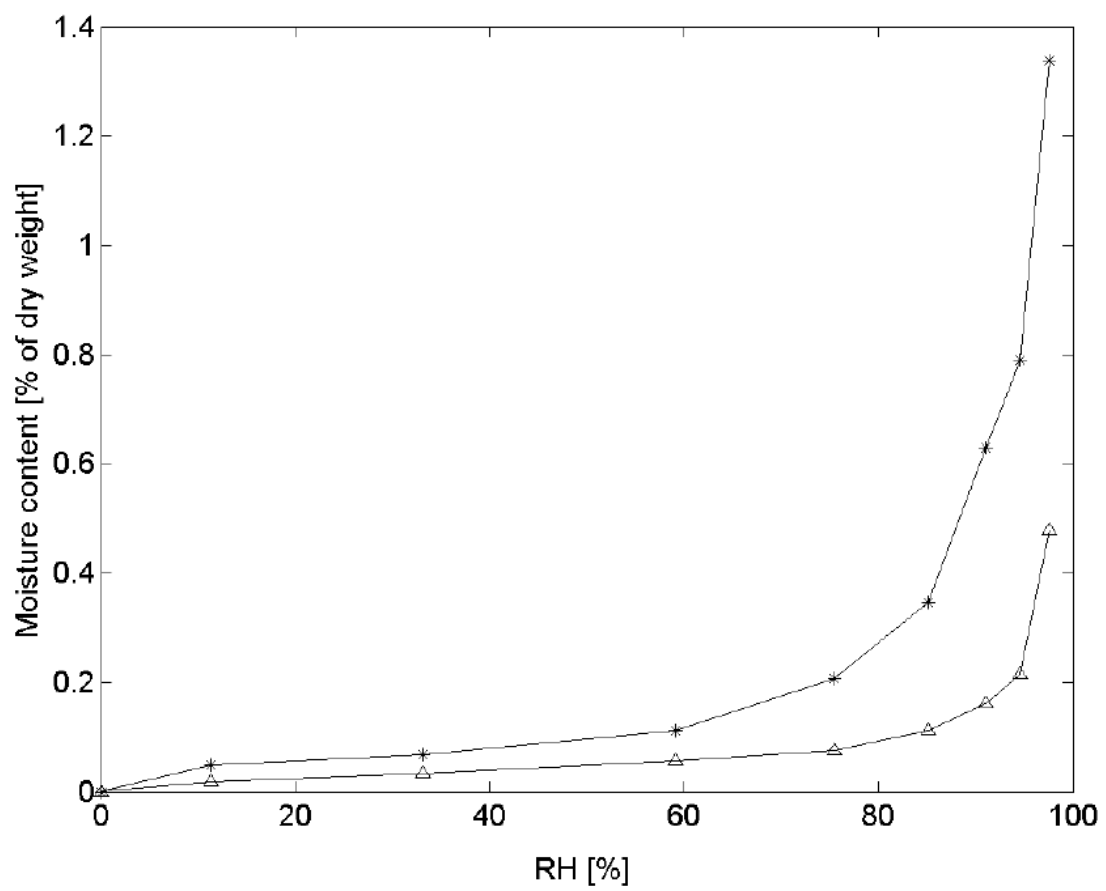
Försök 2.

Tid (Dygn)	RF i betong (%)	RF i lättklinker (%)
0	81	100
1	83,7	100
2	98,8	100
3	99,5	100
4	99,5	100
5	99,5	100
6	99,6	100
7	99,5	100
8	99,1	100
9	99,1	100
10	99,5	100
13	99,1	100
20	99,5	100
24	100	100
27	100	100
31	100	100
41	100	100
53	100	100
69	100	100
83	100	100

### Bilaga 3.

#### Lättklinkers sorptionskurva

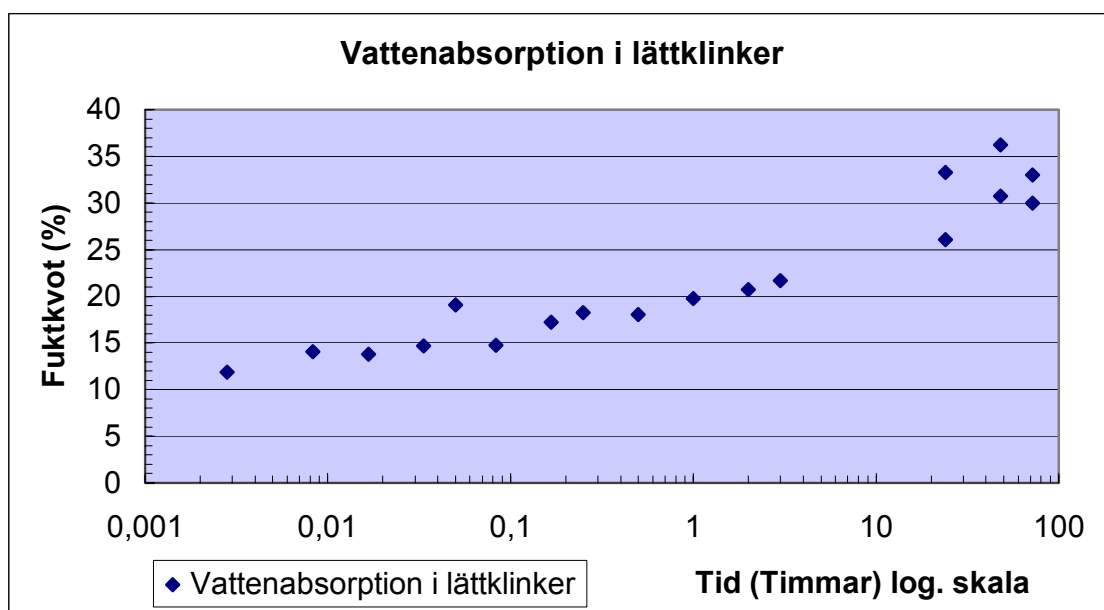
Kornfraktion 4-10 mm. Material levererat från Optiroc AB, december 2002.



## Bilaga 4.

### Fuktabsorption i lättklinker (12-20 mm)

Burk	Tid	Vikt före uppfuktning (g)	Vikt efter uppfuktning (g)	Vikt av vatten (g)	u - Fuktkvot (%)
1	10 sek	75,519	84,506	8,987	11,9
2	30 sek	78,905	89,989	11,084	14,047
3	1 min	81,094	92,261	11,167	13,771
4	2 min	77,437	88,814	11,377	14,692
5	3 min	80,715	96,111	15,396	19,075
6	5 min	80,015	91,805	11,79	14,735
7	10 min	79,907	93,65	13,743	17,199
8	15 min	77,951	92,172	14,221	18,244
9	30 min	79,055	93,321	14,266	18,046
10	1 timme	75,502	90,44	14,938	19,785
11	2 timmar	78,961	95,32	16,359	20,718
12	3 timmar	74,892	91,147	16,255	21,705
13	24 timmar	78,181	98,583	20,402	26,096
14	24 timmar	76,317	95,711	25,412	33,298
15	48 timmar	78,28	102,356	24,076	30,756
16	48 timmar	76,146	97,167	27,606	36,254
17		78,553	104,493	25,94	33,022
18	72 timmar	74,995	97,495	22,5	30,002





## Bilaga 5 - Beräkningar

### 6.2 Uttorkning av vattenskadad betong genom ventilerad bädd av lättklinker (Kanal 1)

Recept för gjutning.  $V_{ct} 0.7$ ,  $V_{btg} = 0.125 \text{ m}^3$

- Cement 34.875 kg
- Vatten 24.260 kg
- Grus (0-8) 117.19 kg
- Sten (8-12) 58.375 kg
- Sten (12-16) 58.375 kg

Betongens data och dimensioner:

Volym av betong blocket  $V = 0.0648 \text{ m}^3$

$$\frac{V}{V_{btg}} = 51.84 \%$$

$$RH_{början} = 97.5 \%$$

$$RH_{slut} = 79 \%$$

Från fig. 2.3 fås:  $W/C_{början} = 0.45$   
 $W/C_{slut} = 0.29$

Mängd avdunstat vatten:

Mängd vatten i början  $34.875 * 0.5184 * 0.45 = 8.13 \text{ kg vatten.}$

Mängd vatten på slutet  $34.875 * 0.5184 * 0.29 = 5.24 \text{ kg vatten.}$

$8.13 - 5.24 = 2.89$  kilo vatten (liter) har avdunstat. Vi höll på 3 kg vatten. Att det skiljer ca 0.11 kg kan bero på att en del av vattnet som hölls på betongen hann avdunsta innan konstruktionen förslöts och mätningarna påbörjades.

Hastighet på uttorkning

Mängden vatten som ventilerades bort var 2.89 kg. Tiden var 84 dygn. Area =  $0.72 \text{ m}^2$ .

$$2.89 \text{ kg} / (0.72 * 84) = 0.0478 \text{ kg}/(\text{m}^2 * \text{dygn}) = 47.8 \text{ g}/(\text{m}^2 * \text{dygn}).$$

*Luftflöde per dygn*

Medelluftflödeshastighet = 0.348 m/sek

Kanalens area =  $0.15 * 0.4 = 0.06 \text{ m}^2$

Luftflöde  $q = 0.06 * 0.348 * 60 * 60 * 24 = 1804.5 \text{ m}^3/\text{dygn}$

Mängd avdunstat vatten per  $\text{m}^3$  luft blir då ca 0.026 g fukt vilket motsvarar 0.15 % RF vid 20 °C.

### 6.3 Uttorkning av nygjuten betong genom ventilerad bädd av lättklinker (Kanal 2)

Recept för gjutning.  $V_{ct} 0.7$ ,  $V_{btg} = 0.100 \text{ m}^3$

- Cement 29.700 kg
- Vatten 18.510 kg
- Grus (0-8) 94.490 kg
- Sten (8-12) 46.700 kg
- Sten (12-16) 46.700 kg

Volym av betong blocket  $V = 0.0648 \text{ m}^3$

$$\frac{V}{V_{btg}} = 64.8\%$$

$RH_{början} = 96.5 \%$

$RH_{slut} = 83 \%$

Från fig. 2.3 fås:  $W/C_{början} = 0.45$   
 $W/C_{slut} = 0.3$

*Mängd avdunstat vatten*

Mängd vatten i början  $29.7 * 0.648 * 0.44 = 8.47 \text{ kg vatten.}$

Mängd vatten på slutet  $29.7 * 0.648 * 0.31 = 5.97 \text{ kg vatten.}$

$8.47 - 5.97 = 2.5$  liter vatten har avdunstats.

*Hastighet på uttorkning*

Mängden vatten som ventilerades bort var 2,50 kg. Tiden var 84 dygn. Area =  $0,72 \text{ m}^2$ .

$2.50 \text{ kg} / (0.72 * 84) = 0.0413 \text{ kg}/(\text{m}^2 * \text{dygn}) = 41.3 \text{ g}/(\text{m}^2 * \text{dygn}).$

*Luftflöde per dygn*

Medelluftflödeshastighet = 0.11 m/sek

Kanalens area = 0.15 \* 0.4 = 0.06 m<sup>2</sup>

Luftflöde q = 0.06 \* 0.11 \* 60 \* 60 \* 24 = 570.24 m<sup>3</sup>/dygn

Mängd avdunstat vatten per m<sup>3</sup> luft blir då ca 0.07 g fukt vilket motsvarar 0.4 % RF vid 20 °C.

## 6.7 Fuktabsorption i gammal betong från fuktig bädd av lättklinker.

### Försök 1.

Recept för gjutning. V<sub>ct</sub> 0.7 , V<sub>btg</sub> = 0.125 m<sup>3</sup>

- Cement 34,875 kg
- Vatten 24,260 kg
- Grus (0-8) 117,19 kg
- Sten (8-12) 58,375 kg
- Sten (12-16) 58,375 kg

Betongens data och dimensioner:

V<sub>olym</sub> = 0.09 \* 0.30 \* 0.50 = 0.0135m<sup>3</sup>

$$\frac{V}{V_{btg}} = \frac{0.0135}{0.125} = 0.108\%$$

RH<sub>början</sub> = 79%

RH<sub>slut</sub> = 99%

Från fig. 2.3 fås: W/C<sub>början</sub> = 0.17  
W/C<sub>slut</sub> = 0.525

*Mängden absorberat vatten*

Mängd vatten i början 34.875 \* 0.108 \* 0.17 = 0.64 kg vatten.

Mängd vatten på slutet 34.875 \* 0.108 \* 0.525 = 1.98 kg vatten.

1.98 – 0.64 = 1.34 kg vatten har absorberats av betongen.

## 6.7 Fuktabsorption i gammal betong från fuktig bädd av lättklinker Försök 2.

Recept för gjutning.  $V_{ct} 0.7$ ,  $V_{btg} = 0.125 \text{ m}^3$

- Cement 34.875 kg
- Vatten 24.260 kg
- Grus (0-8) 117.19 kg
- Sten (8-12) 58.375 kg
- Sten (12-16) 58.375 kg

Betongblocks data och dimensioner:

$$Volym = 0.09 * 0.30 * 0.50 = 0.0135 \text{ m}^3$$

$$\frac{V}{V_{btg}} = \frac{0.0135}{0.125} = 0.108\%$$

$$RH_{början} = 81\%$$

$$RH_{slut} = 100\%$$

Från fig. 2.3 fås:  $W/C_{början} = 0.17$   
 $W/C_{slut} = 0.55$

*Mängd absorberat vatten*

*Mängd vatten i början*  $34.875 * 0.108 * 0.17 = 0.64 \text{ kg vatten.}$

*Mängd vatten på slutet*  $34.875 * 0.108 * 0.55 = 2.07 \text{ kg vatten.}$

$2.07 - 0.64 = 1.43 \text{ kg vatten har absorberats i betongen.}$

Beräkning på hur mycket fukt för lättklinker innehålla för att betongens RF ska inte överskrida gränsen av 90 %.

Recept för gjutning.  $V_{ct} 0.7$ ,  $V_{btg} = 1 \text{ m}^3$

• Cement	297 kg
• Vatten	195 kg
• Grus (0-8)	935 kg
• Sten (8-12 : 12-16)	934 kg
-----	
• Total vikt	2361 kg

Betongblocks data och dimensioner:

$$Volym = 0.18 * 1.0 * 1.0 = 0.18 \text{ m}^3$$

$$\frac{V}{V_{btg}} = \frac{0.18}{1.0} = 0.18\%$$

$$RH_{början} = 70\%$$

$$RH_{slut} = 90\%$$

Från fig. 2.3 fås:  $W/C_{början} = 0.24$   
 $W/C_{slut} = 0.28$

*Mängd absorberat vatten*

$$\text{Mängd vatten i början } 297 * 0.18 * 0.24 = 12.83 \text{ kg vatten.}$$

$$\text{Mängd vatten på slutet } 297 * 0.18 * 0.28 = 14.97 \text{ kg vatten.}$$

$$14.97 - 12.83 = 2.14 \text{ kg vatten blir absorberat i betongen.}$$

*Fuktkvot i lättklinker får då bli högst:*

$$Volym \text{ på lättklinkerbädd} = 0.15 \text{ m}^3$$

$$\text{Lättklinkers densitet} = 260 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Fuktkvot: } u = \frac{m_w}{m_0} = \frac{2.14}{(260 * (1.0 * 1.0 * 0.15))} = 0.055 = 5.5\%$$

$m_w$  = mängden förångningsbart vatten, kg

$m_0$  = mängden torrt material, kg