

307
95:14

Produktionsanpassad information om byggfukt i betong

Slutrapport

BELAB, Februari 1995

Deltagande företag

BELAB

JM

NCC

SKANSKA

Rapporten är finansierad av SBUF

SBUF

Box 7835

103 98 Stockholm

Sammanfattning

För att kunna tillgodose entreprenörernas behov av kunskap om byggfukt i samband med användandet av betong som byggnadsmaterial krävdes att produktionspersonalens kunskap kartlades. Kartläggningen visade att personalen ansåg att de hade hygglig kunskap i dessa frågor, men de anser sig samtidigt ha behov av avsevärt mer kunskap. Ett av huvudönskemålen var att kurser anordnades samt att direkta arbetsinstruktioner (typ lathund) infördes.

För att tillmötesgå personalens krav togs en lathund fram baserad på de forskningsrön som kommit fram de senaste åren.

För att förstå byggfuktsproblematiken är det viktigt att inse att det stora problemet är samspelet mellan den fuktiga betongen och dess omgivning. Inte minst då betongens egen alkalitet vilken reagerar med mjukgörare i plastmattor och eventuellt kan bryta ned vissa typer av flyttillsatser.

Ett flertal bostadsobjekt studerades ur uttorkningssynpunkt. Resultatet av dessa studier var att de flesta objekt hade en acceptabel uttorkningstid. Men att det trots allt finns objekt där det finns tvivel om dessa någonsin ges en möjlighet att torka ut.

För att kunna nå torra hus krävs det att fuktproblematiken tas upp tidigt i projekteringen. Detta kan t.ex. göras genom att funktionskrav införs med avseende på fukt.

I slutet finns det en förklaring av vissa begrepp och ord vilka kan vara av värde att friska upp innan rapporten avnjuts.

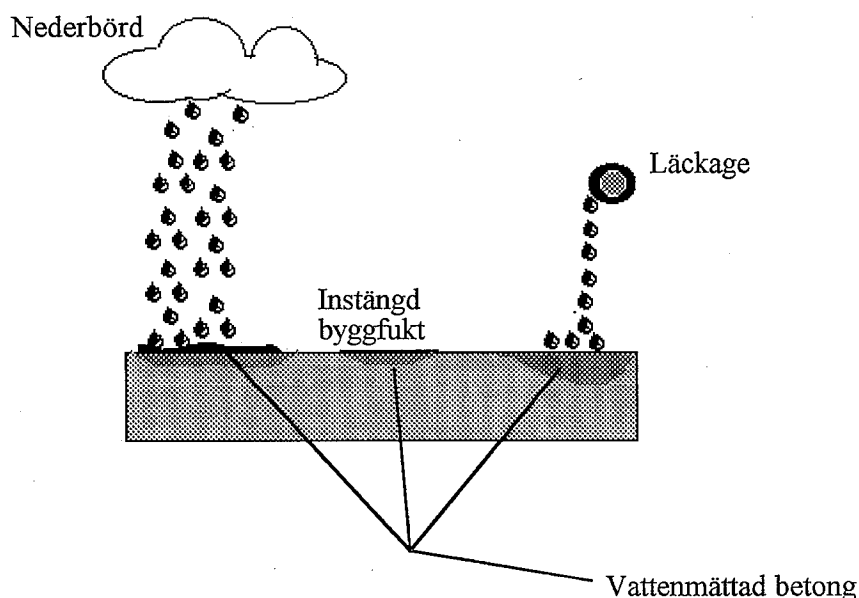
INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 METODIK	2
1.3 SYFTE	3
1.4 ORGANISATION OCH FINANSIERING	3
2. ENKÄTER OCH SYNPUNKTER	4
2.1 BESTÄLLARSYNPUNKTER	4
2.2 PROJEKTÖRSSYNPUNKTER	4
2.3 ENTREPRENÖRSSYNPUNKTER	6
3. FUKT	8
3.1 VAD ÄR RELATIV FUKTIGHET OCH ÅNGHALT ?	8
3.2 MÄTNING AV RELATIV FUKTIGHET	9
3.3 OLIKA TYPER AV MÄTFEL	11
3.4 SLUTSATS AV FELKÄLLOR	13
4. ALKALITET	14
4.1 VAD ÄR BETONGALKALITET ?	14
4.2 KAN HÖG ALKALITET ORSAKA OÖNSKADE REAKTIONER ?	16
4.3 ANALYS KRING ALKALITET	16
5. UTTORKNINGSTIDER	18
5.1 VARFÖR SKA VI RÄKNA MED VCT/VBT VID UTTORKNING ?	18
5.2 UTTORKNINGSFÖRHÅLLANDEN	19
5.3 LATHUND	20
5.4 UTTORKNINGSTIDER	24
5.6 AKTUELLA OCH INTRESSANTA FAKTAPROJEKT	32
6. SKADEORSAKER	34
SLUTSATSER	35
REFERENSER	38
ORDLISTA	39
BILAGOR	40

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Under de senaste årtiondena har problemet med "sjuka hus" debatterats flitigt. Dålig ventilation, nya material och fukt har ansetts vara huvudorsakerna till att människor får allergiska besvär. Första syndabocken bland byggnadsmaterialen blev flytspacklet. Det konstaterades att flytspacklet innehöll kaseiner och avgav ammoniak. Ammoniak trängde upp genom golvet och kom i kontakt med ytskikten. Detta skapade problem och missfärgningar. Numera är kaseinet borta ur flytspacklet, trots det har de allergiska besvären inte minskat. Det gör att strålkastarljuset mer och mer riktas mot fukten, många ser i dag fukten som orsaken till alla problem.



Figur 1. Tänkbara anledningar till fuktproblem.

Fuktproblem är väldigt komplexa. När vi bygger hus bygger vi oftast in stora mängder med vatten, framförallt i betongkonstruktioner. Hur stora mängder det är kan vi till viss del kontrollera och beräkna. Ytterligare fukt kan bero på yttre faktorer såsom regn under byggtiden vilket tillsammans med dålig täckning kan medföra en stor ökning av byggfukten.

Huset utsätts under sin livstid för ytterligare fuktbelastningar. Vattenrör som går sönder, taktäckningar som inte klarar långtidsfuktbelastningen utan börjar släppa igenom fukt, eller kondens som bildas på grund av temperaturgradienter. Val av täta material gör att denna fukt stängs inne och aldrig medges att torka ut. En forskningsrapport presenterad sep-94 visar att upp till var 5:e hus kommer att fuktskadas under sin drifttid /12/.

Besvär och skador i byggnader medförde att branschen fick ett starkt ökat intresse av kunskap i fuktfrågor. För att ge branschen en möjlighet att tillgodose dessa krav krävdes att branschens kunskapsnivå kartlades och att metoder för att höja denna nivå togs fram. Under projektets gång visade det sig att det finns en avsevärd kunskapslucka mellan entreprenadföretag, projektörer, konsulter på ena sidan och forskarvärlden på den andra. Det fanns således ett kommunikationsglapp däremellan. En stor del av projektarbetet blev därför inriktad mot

transformering och överföring av befintlig forskarkunskap till byggbranschen, på en lättfattlig nivå.

Vi anser att en av anledningarna till att kunskapsglappet är så stort mellan de berörda parterna är att företagen under goda tider inte anser sig ha tid att sätta av välutbildad personal till att följa forskningsverksamhet, då dessa behövs inom produktionen. Under den kraftiga lågkonjunkturen som har varit i branschen har företagen i stället inte haft råd att satsa på utvecklingen utan har varit tvingade att dra ned på alla kostnader utanför den absoluta kärnverksamheten. Sammanfattningsvis kan man således säga att en bidragande anledning till kunskapsglappet är konjunktursvängningarna. För att byggbranschen i framtiden skall kunna ligga i fas med forskningen krävs det en lugnare konjunkturutveckling inom byggbranschen med mindre svängningar mellan hög och låg konjunktur, samt ökad kunskap i de breda leden.

1.2 Metodik

Det här projektet har genomförts i flera steg, där det första steget var att ett stort antal personer (ca 160) inom entreprenadföretagen NCC, SKANSKA och JM fick svara på en enkät där de beskrev sin egen kunskapsnivå, hur de anser att informationen från företaget bedrivs i dag och hur de önskade att den skulle bedrivas i framtiden. I nästa steg utfördes en liknande undersökning hos projektörer (ca 30). Undersökningen var mer inriktad på hur de trodde att den allmänna kunskapsnivån var och de fick dessutom komma med synpunkter på vad de själva ansåg vara viktigt vid projekteringen av byggnader samt om de förde över fuktansvaret på entreprenören. Parallellt skedde en insamling av fakta från högskolor och forskningsavdelningar. Med detta som grund togs en ny typ av lathund fram för fuktdimensionering, vilken under projektets gång användes för att i grova drag kontrollera om redan befintliga objekt hade acceptabla uttorkningstider.

Genom att utvärdera kunskapsnivån och höja denna hoppas vi kunna uppmuntra till ett ännu större intresse för dessa frågor ute på byggarbetsplatserna och därigenom öka medvetandet ytterligare.

1.3 Syfte

Projektet har syftat till att tillgodose entreprenörens behov av kunskap med avseende på byggfuktsproblem vid användandet av betong i bostadshus. Avsikten med projektet var att få en oberoende part att bygga upp ett system vilket skulle resultera i ett övergripande samarbete mellan byggbranschens alla parter inom området byggfukt.

Detta skulle sedan resultera i följande:

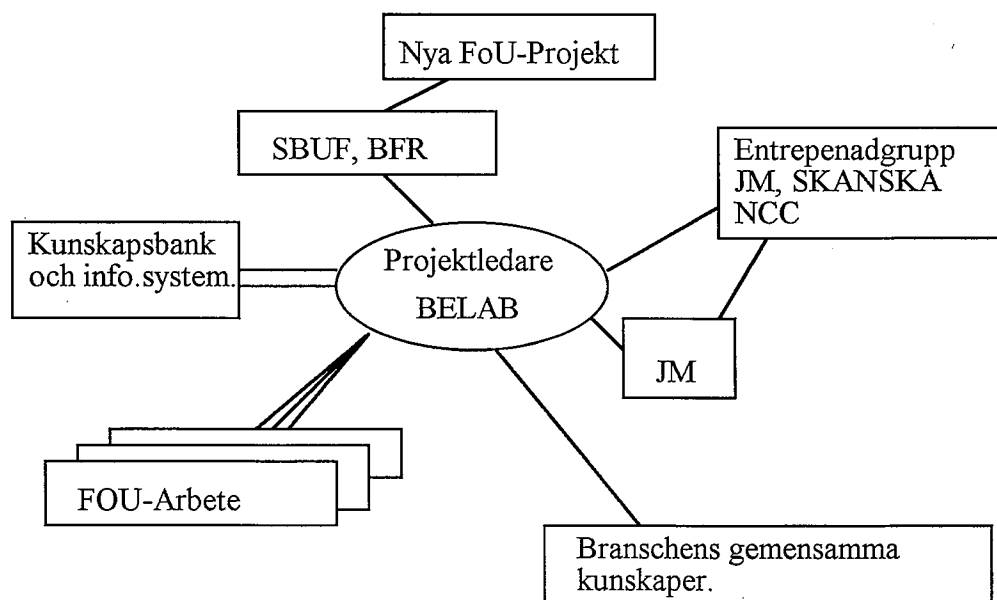
- En kunskapsbank innehållande ny tillgänglig information om dels byggfukt generellt och dels om specifika projekt vilka behandlar/behandlat olika byggfuktproblem.
- Ett system för hur kunskapsspridning till entreprenören skall ske på ett för entreprenören optimalt sätt.
- En konkret strategi för ett framtida samspel mellan entreprenör och de som driver FOU-projekten, för att på sätt möjliggöra för entreprenören att påverka den framtida forskningens inriktning.

1.4 Organisation och finansiering

Projektet har genomförts som ett samarbetsprojekt mellan BELAB, NCC, JM och SKANSKA.

BELAB har fungerat som projektledare och har arbetat utifrån ovanstående entreprenadföretags riktlinjer. JM har varit medelsförvaltare. Kontakter har knutits med tekniska högskolor, branschorganisationer och byggföretag.

JM, SKANSKA och NCC har tillhandahållit referensobjekt med tillhörande tidplaner och fungerat som sparringpartners vid problembeskrivningar.



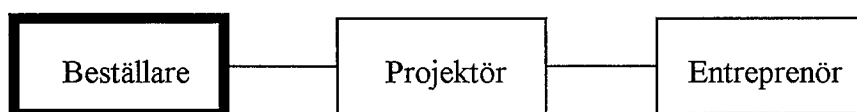
Figur 2. Projektorganisation.

2. Enkäter och Synpunkter

2.1 Beställarsynpunkter

I ett inledande skede kartlades kunskapsnivån hos de medverkande parterna i byggprocessen. Ett 15-tal stora beställare telefonintervjuades och deras synpunkter redovisas nedan.

De flesta anser att fuktfrågorna är oerhört viktiga. Beställarna försöker påverka alla inblandade i byggprocessen, t.ex. genom att kräva max 85% RF vid mattläggning. Generellt är tilltron till entreprenörens kompetens inom fuktområdet stor. Därför överlåter de flesta hela ansvaret till entreprenörerna.



Figur 3. Beställarens plats i byggprocessen.

Vi ställde frågan

Är du säker på att ni får "torra" hus?

Vanliga svar från beställare kan låta:

Vi har alltid haft en bra relation med vår entreprenör och han kan sin sak.

Vi kräver att RF är under 85% vid mattläggning och det vet vi att vi får.

På något sätt verkar det som om beställarnas goda intentioner om fuktfria hus filtreras bort under projektens gång. Det blir ofta en målkonflikt mellan vad som är viktigast, att hålla tidplaner eller få ett garanterat torrt hus. Med de stora räntekostnader som ligger i byggskedet, blir det ofta så att inflyttningsdatumet är spikat och därigenom får fuktkravet omedvetet rucka på sig.

2.2 Projektörssynpunkter

Vem är det egentligen som har ansvar för att betongen torkar ut ordentligt? Vem är det i byggprocessen som har tillräcklig kunskap för att kunna dimensionera konstruktionen på ett sådant sätt att den relativa fuktigheten inte är för hög vid mattläggning. Självklart har entreprenören ett stort ansvar att inte ta på sig objekt där han vet att han inte kommer att

kunna lämna över ett torrt hus till beställaren, men entreprenören kommer ofta in så sent i byggprocessen att han inte har en chans att påverka fuktdimensioneringen.



Figur 4. Projektörens plats i byggprocessen.

Delansvariga för fuktdimensioneringen måste därför sökas tidigare i byggprocessen. Vilket intresse har t.ex. projektörerna av friska, torra hus och hur ser dom på sin roll vad det gäller byggfukt. Vi beslutade oss för att göra en enkät bland ett 10 tal av det mest anlitade projektörerna. Dessa är sådana som frekvent används av JM, SKANSKA och NCC.

Vi ställde bland annat frågan,

Tycker du att du har tillräcklig kunskap om betonguttorkning ?

Här är några typiska utdrag av svaren:

Tycker att jag har hyfsad kunskap, men brukar inte bry mig.

NEJ!

Vi dimensionerar bara för ljud och hållfasthetskrav, men det är klart man försöker undvika att lägga en tjock platta på mark.

Nej, man förutsätter att entreprenören ska ha kunskap om uttorkningstider.

Vi frågade.

Förekommer det kontakt mellan entreprenör och projektör i de här frågorna ?

Typiska svar var dessa.

Nej, det tror jag inte.

Minimalt det förekommer i stort sätt inte.

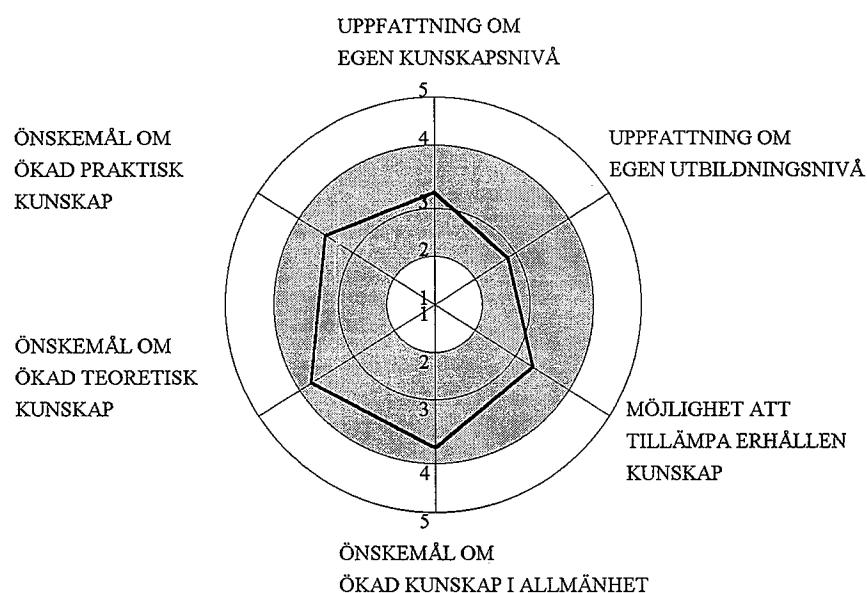
Ibland förekommer en del samtal innan planer påbörjas.

Sammantaget visade de intervjuer vi gjorde att fuktfrågan i stort sätt inte finns uppsatt på projektörens dagordning. Han överlämnar för det mesta ansvaret till entreprenören. Det som vi anser vara märkligast är att kontakterna är så dåligt utvecklade mellan projektör och entreprenör.

2.3 Entreprenörssynpunkter

Vid samtal med entreprenörer framkommer det att kommunikationssvårigheterna ofta är stora när det inte är frågan om totalentreprenader. Entreprenörerna anser att de kommer in så sent i byggprocessen att de ofta inte har någon eller mycket begränsad möjlighet att påverka de projekterade uttorkningstiderna. Genom att de har räknat hem objektet enligt de specifikationer som projektören har gett är det ekonomiskt omöjligt för dem att börja byta ut låga betongkvaliteter mot högre, vilket vore en metod att påverka uttorkningstiderna.

En omfattande enkätundersökning (160 enkäter, svarsfrekvens 90%) är gjord med anställda på JM, SKANSKA och NCC. De anställda fick svara på en enkät bestående av 52 frågor. Dessutom har ett antal inledande frågor ställts angående de svarandes bakgrund, arbetsuppgifter och geografiska arbetsområde.



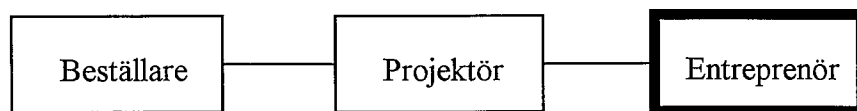
Figur 5. Diagram över kunskapsnivån inom olika entreprenadföretag.

Frågorna har varit formulerade med den inledande frasen " i vilken omfattning tycker du att ..." och svarsalternativen har varit;

1. I ingen omfattning
2. I liten omfattning
3. I någon omfattning
4. I stor omfattning
5. I mycket stor omfattning

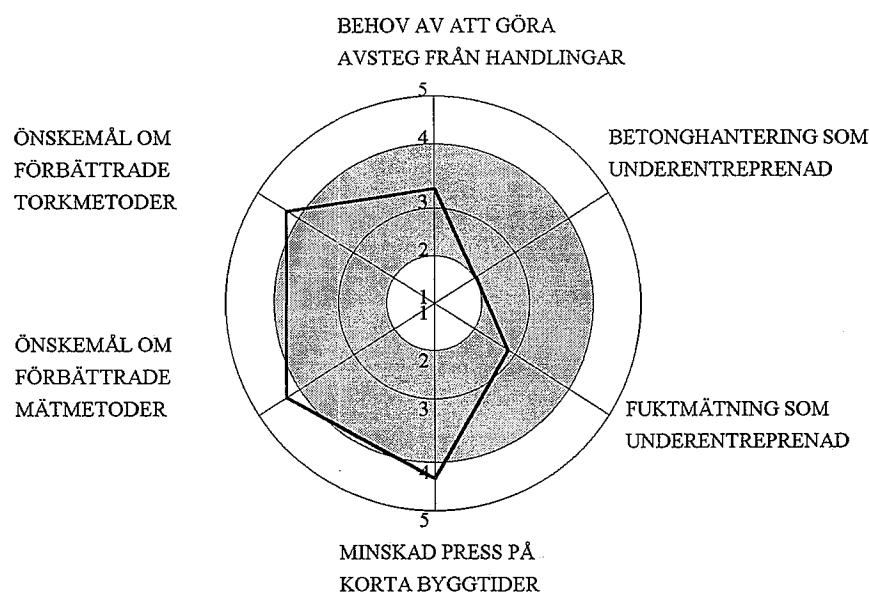
Ur svaren framgår att kompetensnivån är jämn mellan de olika företagen. I allmänhet anser man att den egna kunskapsnivån är god, men att man trots det är i stort behov av ytterligare kunskap. Detta gäller såväl teoretisk som praktisk kunskap vad det gäller betong- och fukttekniska frågor.

Man anser att informationskanalerna är otillräckliga. I den mån man söker eller får information är det genom betongleverantören. När det gäller information från CBI eller tekniska högskolor är den i det närmaste helt obefintlig. Intressant är att de personer som endast arbetat några år i yrket anser att de i än mindre utsträckning än de övriga får information från CBI, tekniska högskolor eller kurser. De som arbetar ute i produktionen vill helst ha information i form av utbildning och kurser eller produktionsanpassade lathundar. De är inte speciellt intresserade av mer utbildning från betongleverantörer eller det egna företaget.



Figur 6. Entreprenörens plats i byggprocessen.

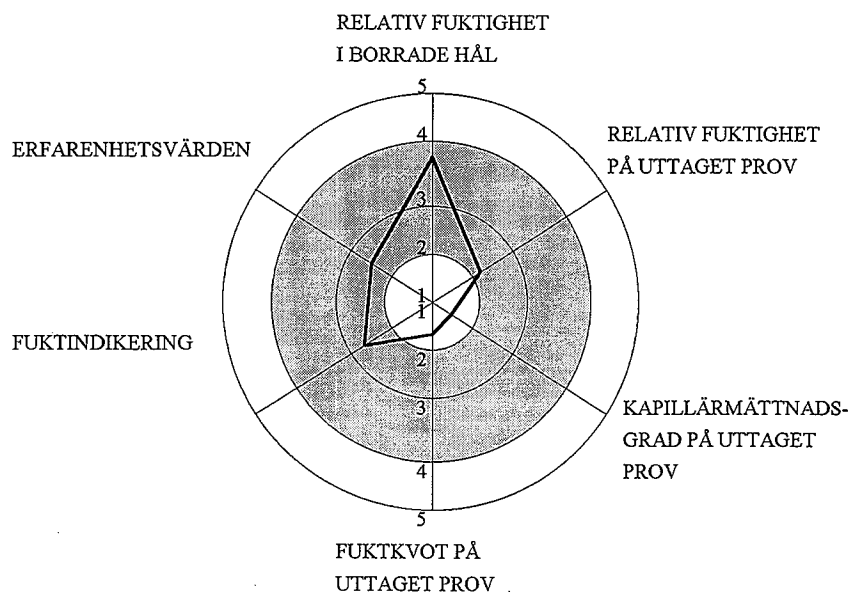
När entreprenören räknar på ett objekt vet han oftast om vid vilket datum byggnaden skall stå färdig. Problemet är att byggstarten ofta blir förskjuten, vilket gör det svårt att beräkna hur lång tid bjälklagen kommer att få på sig att torka ut. Detta faktum gör att man i anbudsskedet gärna gör glädjekalkyler vad det gäller uttorkningstider. Enkätundersökningarna stöder detta och visar att man i relativt stor utsträckning gör avsteg från handlingarna.



Figur 7. Diagram över önskemål om arbetsmetoder.

Det som är intressant är att en övervägande majoritet är medveten om att problem kan uppstå av fukt och trots detta sker avsteg i relativt stor utsträckning från handlingarna.

När det gäller vilka mätmetoder som används vid fuktmätningar är svaren entydiga. Den helt förhärskande metoden är att mäta den relativa fuktigheten i borrarade hål. I viss utsträckning använder sig branschen av fuktindikering och erfarenhetsvärden. I norra Sverige används fuktindikering mer frekvent än i övriga landet. Detta är oroande då fuktindikeringens värden har stor felmarginal. Ett starkt önskemål om förbättrad mätutrustning uttrycktes klart i undersökningen.



Figur 8. Diagram vilket visar frekvensen för användning av olika mätmetoder.

En mer utförlig analys av enkätundersökningen fås i bilaga 1 "Delrapport 1 produktionsanpassad betong"

Av enkäterna och telefonintervjuerna framgår att en ökad kompetens behövs i fuktfrågorna. En viktig del för att kunna bygga torra hus är att lära sig hur uttorkningen fungerar och hur fuktmätningen skall utföras.

3. Fukt

3.1 Vad är relativ fuktighet och ånghalt ?

De flesta konstruktioner av betong är omgivna av luft. Luften innehåller alltid fukt i form av vattenånga. Då betong är ett poröst material kommer det att ske lufttransport från den omgivande luften till betong och vice versa. Således kommer det att ske ett utbyte av fukt mellan betongen och luften.

Luft är sammansatt gas vilken under normala förhållanden innehåller 78 (volym)% kväve, 21(volym)% syre, 1(volym)% argon och spår av ett tiotal andra gaser. Till detta kommer en ytterst liten mängd vattenånga /4/.

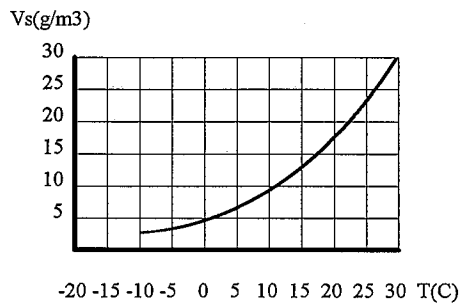
Ett sätt att tala om hur mycket ånga det finns i luften är att ange det i gram ånga/m³ luft. Det kallas för *ånghalt*. Desto mer vattenånga det finns i luften desto högre blir dess ånghalt. När ånghalten (mängden ånga) blir tillräckligt stor kommer ångan att kondenseras och det bildas fritt vatten. Den mängd där detta sker vid kallas för mättnadsånghalt.

Genom att ange förhållandet mellan ånghalt och mättnadsånghalt får vi fram ett uttryck som har fått namnet *relativ fuktighet*.

Relativ fuktighet = ånghalt/mättnadsånghalt

Ånghalten i en instängd luftvolym varierar inte vid en temperaturförändring men det gör mättnadsånghalten. Om temperaturen ändras innebär det att den relativa fuktigheten varierar samtidigt som ånghalten är konstant.

För varje temperatur finns det en maximal ånghalt som är lika med mättnadsånghalten, den motsvarar att den relativa fuktigheten är 100% och har fått benämningen V_s .



Figur 9. Mättnadsånghalt vid valfri temperatur (bild fritt från Fukthandboken)

Det som är fördelen med att använda relativ fuktighet som mätbegrepp är att den alltid, vid samma temperatur i konstruktionen, kommer att jämnas ut sig mellan olika material. Om vi har ett betongbjälklag kommer det förr eller senare att anta samma relativa fuktighet som den omgivande luften.

Exempel.

Fråga: Det är 25°C varmt och vi har en relativ fuktighet på 60 %, vad är ånghalten ?

Svar: 25°C innebär enligt Figur 3 att mättnadsånghalten är 23 g/m³. Ånghalten är 60 % av 23 g/m³ vilket är $23 \times 0,6 = 13,8$ g/m³

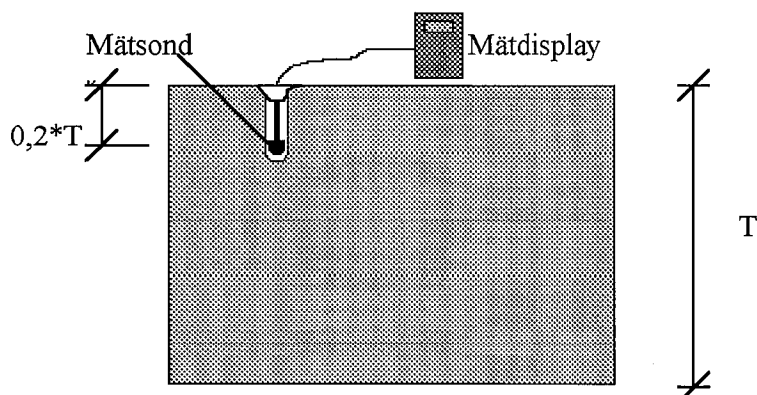
3.2 Mätning av relativ fuktighet

Det finns en uppsjö av metoder för att mäta den relativa fuktigheten i betongen, allt från fuktindikatorer och okalibrerade hemgjorda metoder till utprovade borrhålsmetoder och seriösa laboratorier dit uttagna provbitar översänds för analys. Genomgående är att de som marknadsför de olika metoderna anser att just deras metod är den enda riktiga.

I dagsläget anser vi att det endast är två metoder som är tillförlitliga.

- Väl kontrollerad mätning av RF i borrarat hål.
- Uttaget prov vilket testas i ett laboratorium med högt ställda krav på noggrannhet .

Den vanligaste metoden är att mäta den relativa fuktigheten i ett borrhål.



Figur 10. Principer för mätning av relativ fuktighet i borrhål för dubbelsidig uttorkning där mätsonden är placerad vid 20 % av bjälklagstjockleken.

Genom att borra ett hål till 20 % av bjälklagstjockleken i en betongkonstruktion skapas en liten luftvolym som efter en tid når samma klimat både med avseende på relativ fuktighet och temperatur som den omgivande betongen.

Efter borrningen tar det minst 5 dagar innan hålet når samma klimat som omgivningen och en mätning blir meningsfull, dessutom måste mätinstrumentet vara på plats minst 6-8 h innan resultatet avläses. En förutsättning för att klimatutjämnningen skall ske är att hålet är fordrat så att inget luftutbyte sker mellan hålet och omgivande luft. Ett kalibrerat instrument sänks ned i detta hål och mäter där den relativa fuktigheten. Det uppmätta värdet korrigeras med avseende på temperatur och eventuellt med avseende på alkalitet. Detta värde används sedan som underlag för om betongen är tillräckligt torr eller inte.

I många fall är byggaren intresserad av att nå ett exaktare värde. En metod för att uppnå detta är att ta ut provbitar ur betongkroppen och analyseras dessa vid laboratorium.

För mer information om metoder för mätning av relativ fuktighet hänvisas till ”Uttorkning av byggfukt i betong”/9/.

3.3 Olika typer av mätfel.

När vi mäter den relativa fuktigheten med olika typer av fuktmättningsmetoder får vi inte glömma att det finns ett antal källor som ger upphov till relativt stora mätfel och parametrar som RF måste korrigeras för.

- Saltets kalibreringsfel
- Fel för att instrumenten kalibreras vid fel temperatur.
- Fel på grund av hög alkalitet, kan reduceras genom korrektionskurva.
- Avläsningsfel
- Fel på grund av att temperaturen vid mättillfället skiljer sig från det i bruksskedet beroende på temperatur
- Fel på grund av att givare och betong inte har samma temperatur.
- Instrumentfel
- Hysteres hos givarna.

Saltets kalibreringsfel

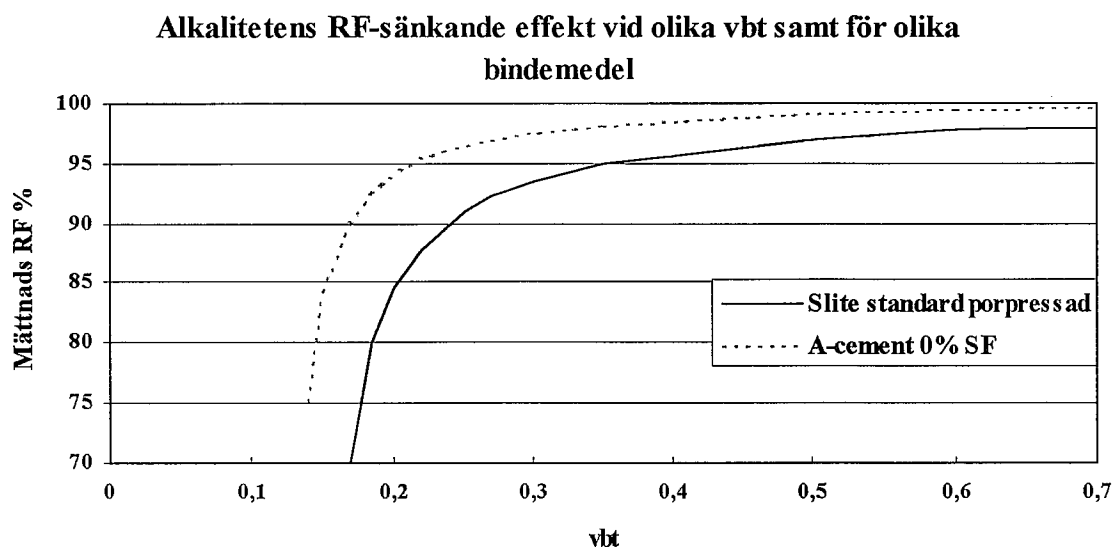
Alla instrument kalibreras. Det innebär att instrumentens RF-skala avstäms mot olika saltlösningars RF-nivåer. Det finns olika typer av salt för vilka det är känt att de vid en sluten volym avger en viss relativ fuktighet. Denna nivå är svår att bestämma noggrannare än $\pm 0,7\%$. Det är gentemot dessa salt de relativa fuktmätarna kalibreras.

Fel Kalibreringstemperatur

I normalfallet kalibreras inte instrumentet vid samma temperatur som när det används i fält. För instrument som inte har inbyggd temperaturkompensation, kan felet ligga i storleksordningen 20 % RF. För de instrument som har inbyggd temperaturkompensation blir felet mycket mindre (upptill 1% RF) men det kan ej helt ignoreras.

Fel p.g.a. hög alkalitet

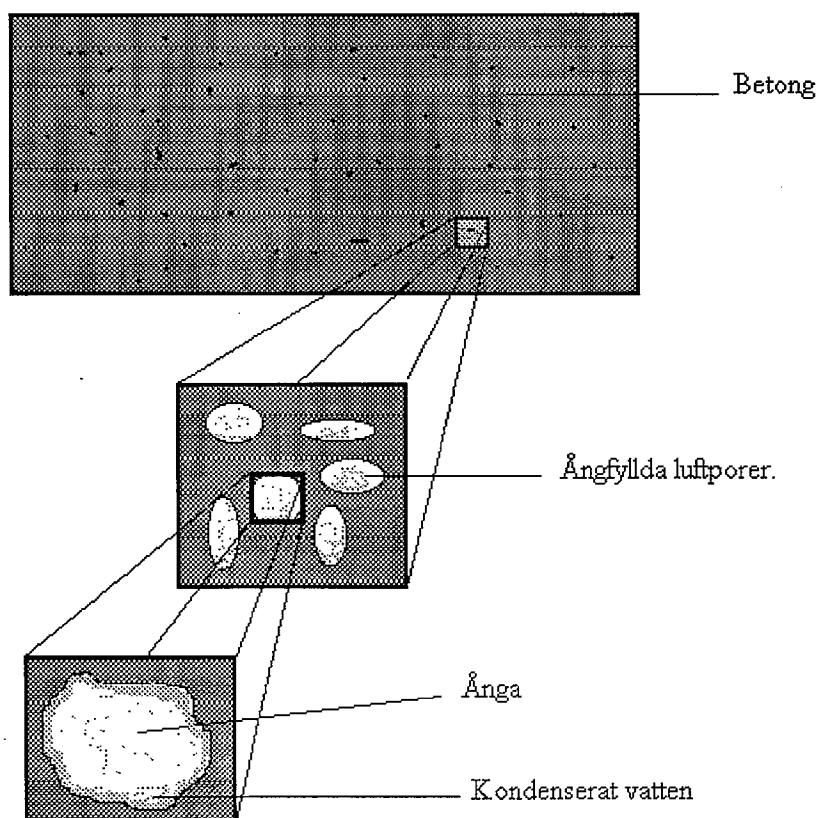
På samma sätt som relativa fuktigheten är beroende av temperatur påverkas den av hög alkalitet. Detta problem uppstår framförallt för betonger med lågt vct och stort innehåll av portlandcement. Om inte mätvärdena korrigeras med avseende på alkaliteten kan det uppmätta RF-värdet skilja upp till 10% RF gentemot det riktiga.



Figur 11. Alkalitetens RF-sänkande effekt vid olika vbt för portland baserad cement utan alkalisänkande tillsatser. (figur från Inverkan av alkali på uppmätt RF i betong /5/)

Fenomenet uppmärksammades för första gången av Hedenblad i rapporten Effect of soluble salt on the sorption isotherm /6/ och mer har skrivits om detta både i Inverkan av alkali på uppmätt RH i betong /5/ och i Self-Disiccation in concrete /9/.

Fel på grund av att temperaturen varierar mellan mätning och bruksskede.



Figur 12. Ånga och kondens i betongporer.

Betong är inte ett homogent material, cementpastan innehåller porer. Det är i dessa betongfukten finns. Det paradoxala händer att när temperaturen ökar så ökar den relativa fuktigheten i dessa porer /11/. En teori som kan förklara detta är att det genom kapillärkrafter i porerna finns kondenserat vatten trots att RF är under 100%. När temperaturen ökar förångas en del av detta och därigenom ökar den relativa fuktigheten. Samtidigt ökar mätnadsånghalten i porluften men mängden förångat vatten är större än ökningen av mätnadsånghalten. Det är viktigt att hålla en jämn uttorkningstemperatur för att kunna lita på RF mätningarna. En tät betong kommer således att visa fel värde under en längre tid.

Mätfelet av detta kan uppgå till $\pm 5\%$.

Avläsningsfel

Det är i stort sätt omöjligt att avläsa mätinstrumenten med en större noggrannhet än $\pm 0,5\%$. Vid dåliga avläsningsförhållanden kan det ibland bli frågan om avläsningsfel upp till 2%.

Fel på grund av att givare och betong inte har samma temperatur.

1 grads skillnad i temperatur mellan givare och betong ger 5 % fel i RF mätningen. Detta får inte ske. Givaren kan anta fel temperatur t.ex. genom att den utsätts för direkt solljus eller drag.

Instrumentfel

Instrumenten kalibreras i förhållanden till vissa salt. Denna kalibrering sker vid salternas mätnads RF. Ett problem är att vi får approximera en relativ fuktighetskurva mellan dessa bestämda värden. Denna approximation har i normalfallet ett fel som varierar mellan 0,5-3%. Detta fel kan hållas ned genom kalibrering på flera nivåer.

Hysteres

Fel på grund av att givarna är under uppfuktning eller uttorkning kan vara upp till 1%. Detta undviks om mätarna alltid kalibreras från det lägsta RF värdet och uppåt. Mätarna måste ha en låg RF när de ansluts till mätplatsen.

3.4 Slutsats av felkällor

Sammantaget framgår det av ovanstående punkter att det finns många felkällor vid mätning av relativ fuktighet. Det är svårt och krävs stor noggrannhet för att det skall vara möjligt att dra några slutsatser av en RF-mätning. För traditionell fältmätning får man acceptera att det är ett ungefärligt värde som ges. Genom att ta ut prover och mäta dessa noggrant kan säkerheten ökas till $\pm 0,5\%$, under optimala förutsättningar.

Osäkerheten i RF- mätningen kan visas som en standardavvikelse för vilken vi kan ange ett konfidensintervall. Vi rekommenderar ett 95 % konfidensintervall, vilket innebär att mätvärdet med 95 % sannolikhet ligger inom medelvärde ± 2 *standardavvikelsen.

Exempel

Vi antar följande fyra fel (i verkligheten är de fler) i vår mätserie och vi utför 5 st mätningar (n=5).

Kalibreringsfel 1% RF ($\pm 0,2^\circ\text{C}$)

Hysteres hos givare 0,5% RF

Avläsningsfel 0,5% RF

Mätaren har annan temp. än betongen 1% RF ($\pm 0,2^\circ\text{C}$)

Standardavvikelsen blir då $\sigma = \sqrt{(1^2 + 0,5^2 + 0,5^2 + 1^2)} = 1,6$

Felintervallet blir $2/\sqrt{n} * \sigma = 2/\sqrt{5} * 1,6 = \pm 1,4 \% \text{ RF}$

Om vi har kravet 85% RF för mattläggning innebär det här exemplet att medelvärdet måste ligga under 83,6 % RF för att vi skall få lägga mattan.

Det här sättet att resonera innebär att desto fler mätningar som utförs desto säkrare kan RF-nivån säkerställas. Om instrumentet och mätningarna utförs med endast dessa felkällor ger exemplet att mätresultaten ligger med 95%-ig säkerhet inom medelmätvärdet $\pm 1,4 \% \text{ RF}$. Exemplet visar att det är viktigt att ha kontroll på alla signifikanta felkällor och att instrumenten måste kalibreras noggrant.

4. Alkalitet

4.1 Vad är betongalkalitet ?

Betongalkalitet är ett mått på hur mycket *fria* hydroxidjoner med den kemiska beteckningen $(\text{OH})^-$ som finns i betongen. Koncentrationen av dessa joner avgör betongens pH-värde. Ett pH-värde över 7 innebär att materialet är alkaliskt ”basiskt”, under sju att det är surt och vid pH 7 att det är neutralt.

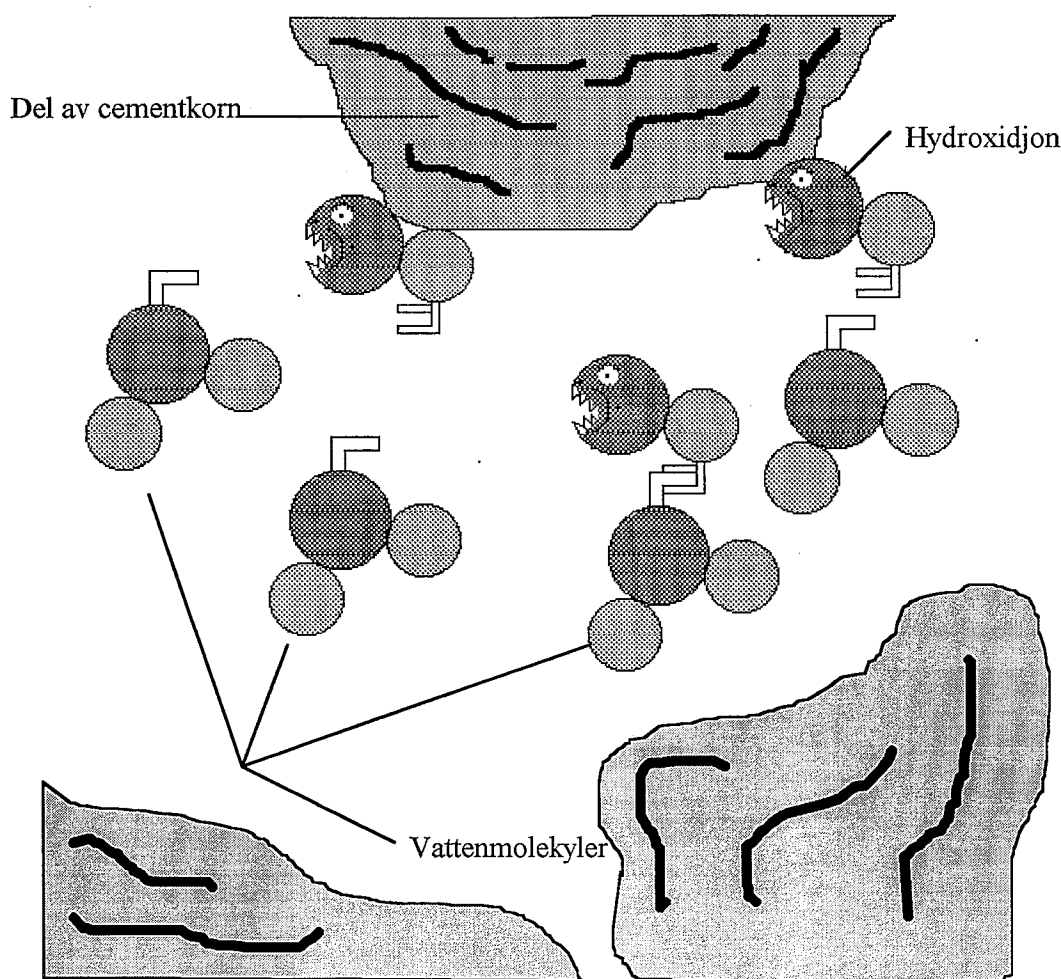
pH-skalan är en logaritmisk skala. Det innebär att en ökning av pH med ett steg är detsamma som en tiodubbling av de fria hydroxidjonerna.

En förutsättning för att hydroxidjonerna skall vara fria är att det finns tillgång till fukt. Fukt fungerar som hydroxidjonernas transportmedel. Om det är torrt kommer således hydroxidjonerna att sitta fastklistrade vid cementen utan möjlighet att förflytta sig. (fig. 13)

Vid Chalmers Tekniska Högskola har försök gjorts /9/ för att ta reda på om det är möjligt för alkalijoner att transporteras vid RF nivåer ner till 75%. Studien visar att transport av alkalijoner sker ända ned till RF 75 % och att betonger med låga vbt/vct antagligen kan transportera alkalitet vid lägre RF-värden än traditionell betong. Då 75% var det lägsta RF-värde för vilket undersökningen utfördes och alkalitransport detekterades vid denna nivå kan vi konstatera att lägsta RF-nivån för alkalitransport är lägre än 75%. Vid Statens Provningsanstalt pågår det nu, hösten 1994 försök för att ta reda på denna nivå.

Fuktig betong är ett basiskt material, dess pH är över 7, för de vanligaste betongkvaliteterna ligger pH värdet mellan 13 och 14. Då vi ofta använder stål i betongkonstruktioner, t.ex. i form av armeringsjärn, har vi nytta av betongens höga alkalitet. I intervallet pH 11-14 är armeringen skyddad från att korrodera. Om man blandar i tillsatser, t.ex. silika ändras pH-nivån. Om betongens pH sjunker till under 11 påbörjas armeringskorrosion, vilket är oönskat. För vidare studier om armeringskorrosion hänvisas till "Betongkonstruktioners beständighet en översikt" Göran Fagerlund LTH. De traditionella betongerna har en så pass hög PH-nivå att korrosion under normala omständigheter inte är något problem.

För att kunna korta byggtiderna har under senare tid uppmärksamheten inriktats mer och mer mot snabbtorkande betonger. Genom att snabbtorkande betonger har ett högre cementinnehåll än traditionella kommer mer vatten att kunna bindas kemiskt och fysikaliskt. Därigenom nås snabbare lägre RF-värden. En effekt av den ökade cementblandningen är att alkaliteten kommer att öka om inte alkalisänkande tillsatser tillförs betongen.



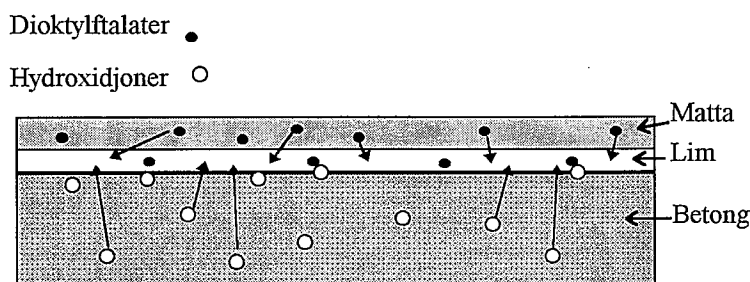
Figur 13. Hydroxidjoner vilka transporteras av vattenmolekyler i vätskefas.

En högre alkalitet kan även uppstå i vissa delar av en konstruktion då betonger separerar vid läggning. Cementen anrikas då i bjälklagets översta skikt, vilket medför en högre alkalitet i detta. Vid bostadsbyggande läggs vanligtvis ett skikt med golvavjämningsmassa på det gjutna betongbjälklaget. Detta skikt har lägre alkalitet än betongen och ligger såsom ett skikt mellan

den högalkaliska betongen och ytskiktet. På tjocka bjälklag med stort fukttinnehåll antar troligtvis detta skikt underlagets pH-värde efter en tid.

4.2 Kan hög alkalitet orsaka oönskade reaktioner ?

Syftet med att använda snabbtorkande betonger för att sänka den relativa fuktigheten är naturligtvis gott, ingen vill ha sjuka hus, men det börjar komma fram fakta som talar för att det inte räcker med att bara sänka den relativa fuktigheten för att komma till rätta med problemen. Redan 1989 publicerade (Statens Provningsanstalt) en rapport under namnet Målade Fuktspärar i golvkonstruktioner /8/ i vilken det visas att det är för enkelt att skylla alla problem på fukten. Hur uppstår då de skadliga emissionerna ?



Figur 14. Transport av dioktylfthalater (DOP) och hydroxidjoner.

Enligt SP's rapport är det framförallt när dioktylfthalater i plastmattornas mjukgörare migrerar (vandrar) ned i lim som reaktionen sker med hydroxidjonerna. Då bildas hälsovådliga oktanoler. Detta kallas för att mjukgöraren hydrolyseras /8/. Restprodukterna luktar illa och kan ge upphov till allergiska reaktioner och ohälsa.

I rapporten visas också på en metod att genom ett spärrskikt med en alkaliresistent epoxi blockera alkalijonerna och därigenom reducera problemen. Det som inte finns klarlagt är långtidseffekterna av detta. Ingen vet vad i dag som händer om den högalkaliska miljön till slut bryter ned även detta skikt, eller om påskjutande fukt får skiktet att släppa och punkteras. Dessutom är epoxi ett material som ej är önskvärt att använda ur arbetsmiljösynpunkt.

En ytterligare effekt av hög alkalitet är att flyttillsatsmedel eventuellt kan påverkas och brytas ned. Försök utförda på Chalmers /9/ tyder på detta. Restprodukterna luktade illa men var av en sådan typ att de inte gick att detektera på annat sätt än genom lukt.

4.3 Analys kring alkalitet

Utvecklingen går idag från en långsamt uttorkande betong med relativt låg alkalitet till en snabbtorkande i vissa fall högalkalisk betong med flyttillsatser. Den traditionella betongen har tillräckligt hög hållfasthet för de flesta vanliga konstruktioner och är relativt diffusionsöppen.

Den nya betongen ger snabbare lägre uppmätta RF-värden men den är dyrare, anses mer svårbehandlad, innehåller större mängd flyttillsatser, är i vissa fall högalkalisk /9/ och dess samspel med omgivande material är i stort sätt outforskat. Det finns i dag många som anser att detta eventuellt kan leda till problem i framtiden /9/.

Frågetecknen kring hur ytskikt reagerar i kontakt med hög alkalitet är många. Det är av största vikt att det utreds på ett seriöst och noggrant sätt hur olika ytskikt påverkas av kombinationen fukt och alkalitet och hur flyttillsatserna reagerar med omgivande fukt och alkalitet. Vid Chalmers pågår i dag vissa försök för att ta reda på detta, men det är endast begränsade försök med en typ av ytskikt.

Det är möjligt att tillverka högpresterande betonger med relativt låg alkalitet genom att tillsätta silika eller byta ut slite standard mot anläggningscement. Det är självfallet positivt att den nya betongen ger kortare uttorkningstider och har en markant egenuttorkning. Om den dessutom ges ett pH-värde i nivå med traditionell betong är det extra positivt.

5. Uttorkningstider

5.1 Varför ska vi räkna med vct/vbt vid uttorkning ?

Traditionellt har uttorkningstider för betong baserats på K-värden, vilket har gått bra då K-värdet har varit knutet till vct. På senare år har det blivit vanligare med flyttillsatser och andra tillsatsämnen i betongen. Det har gjort att K-värdet inte längre är en bra utgångspunkt vid beräkning av uttorkningstider. En betydligt mer relevant faktor är betongens vct /7/.

Vct visar hur mycket vatten betongen tillförs vid blandningen i förhållande till mängden cement. Då cementen reagerar med vatten under härdningsprocessen kommer vatten att förbrukas. Vid hydratationen kommer vatten motsvarande ungefär 25% av cementvikten att bindas kemiskt /9/. Det vatten som inte åtgår till denna process är det som kallas för byggfukt. Förhållandet mellan tillfört vatten och tillförd cement är således väldigt viktigt för uttorkningstiden.

För cement med vct under 0,4 kommer inte all cement att kunna reagera beroende på att betongen blir så tät att det inte finns utrymme för kemiska reaktioner /9/.

De så kallade högpresterande betongerna med höga K-värden/låga vbt-vct når som bekant lägre RF värden snabbare än betonger med lägre K-värden/högre vbt-vct /2/. Det beror på att mer cement har tillsatts betongen för att uppnå det högre K-värdet/lägre vbt-vct, därigenom har vbt minskat. Det är minskningen av vbt-vct som leder till den minskade torktiden, inte det förhållande att betongen blir starkare.

En annan vanlig föreställning är att inblandningen av luftporbildande medel skulle påverka uttorkningstiden. Det är inte korrekt, utan det är återigen vbt som spökar. När vi blandar in luftporbildande medel måste vi ofta höja cementmängden för att klara hållfasthetsvärdena, därigenom sänker vi vbt-vct och därigenom minskar vi uttorkningstiderna.

Samma förhållande gäller när vi blandar in flyttillsatser. Vi kan då tillföra mer cement och ändå nå en bearbetbarhet som är i klass med vanlig betong. Därigenom minskar vattenmängden i förhållande till cementmängden och vct sjunker.

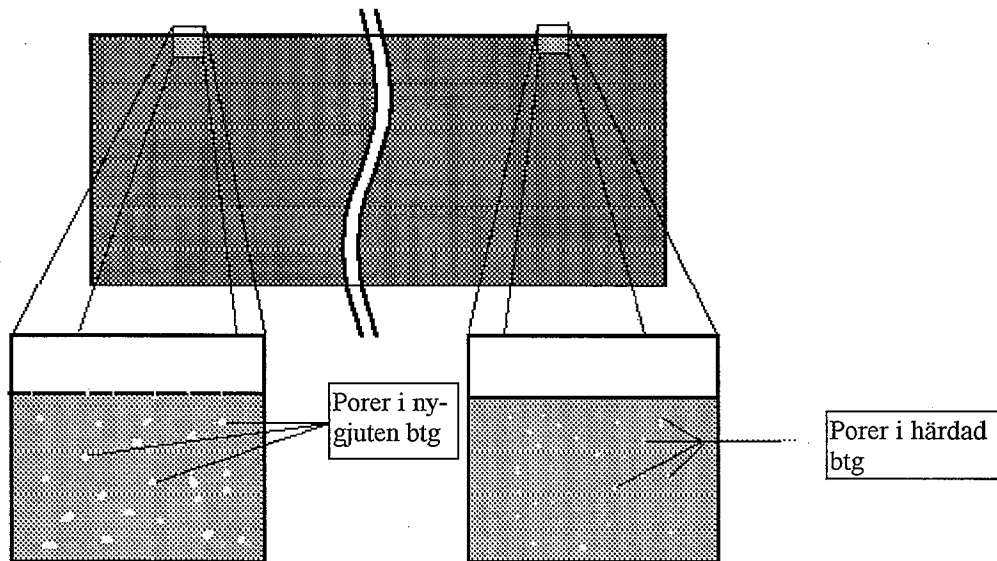
En ytterligare faktor att ta hänsyn till vid beräkningen av betongens uttorkningstid är tillsatsen av andra bindemedel än cement. Det kan t.ex. vara silika, slagg eller flygaska. Det vanligaste tillsatsbindemedlet är silika. Silikan förkortar torktiden och sänker dessutom betongens alkalitet. Enligt Göran Hedenblad /7/ innebär en inblandning av 10% silika en minskning av den erforderliga torktiden för att uppnå 90% RF med ca 60%. Detta oberoende av vbt. För en mindre inblandning av silika var den minskade erforderliga torktiden störst för betonger med låga vbt.

5.2 Uttorkningsförhållanden

Problemet med att torka ut betong är att det för det mesta tar en evinnerlig tid. Alla som har varit ute i produktionen vet att tidsschemat alltid är pressat och att det inte är "speciellt kul" att behöva vänta på att betongen skall uppnå den magiska RF-nivån då mattläggning är möjlig.

Men det går att sänka uttorkningstiden dramatiskt genom att ta hänsyn till vilka uttorkningsförhållanden som betongbjälklaget ges. För att uppnå en snabb uttorkning är det viktigt att täcka in konstruktionen och ge den ett bra torkklimat så fort som möjligt efter gjutning. Detta för att minimera yttre tillförsel av vatten i form av regn och få en möjlighet att komma igång med konstanta torkförhållanden.

Betongen fungerar så att den de första dygnen efter gjutning är relativt öppen. Om gynnsamma uttorkningsförhållanden då ges kan en stor del av byggfukten torkas ut omedelbart. Om inte uttorkningen kommer igång direkt förlängs i stället uttorkningstiden dramatiskt.



Figur 15. Porstrukturer i ny gjuten respektive härdad betong.

Vid inblandning av silika blir betongen tätare vilket ytterligare ökar denna effekt. Detta kompenseras dock i de flesta fall av att en större vattenmängd binds kemiskt p.g.a. silikan och därigenom minskas den mängd vatten som behöver torkas ut.

Ett annat faktum att ta hänsyn till vid uttorkning av betong är att betongen strävar efter att nå samma RF som omgivande luft. Därför är det fördelaktigt om den omgivande luftens relativa fuktighet sänks. Därigenom kommer RF-sänkningen att gå fortare. Det kan t.ex. göras genom att en ordentlig ventilation med torr luft sker i de delar av byggnaden där betong skall torkas ut, alternativt genom inmontering av kondensavfuktare.

5.3 Lathund

Under projektets gång underströks vikten av enkla hjälpmedel för att överslagsmässigt kunna kontrollera om uttorkningstiderna var rimliga. I och med de nya förutsättningar som byggarna ställs för i dag, bland annat med snabbtorkande betonger och lägre RF vid mattläggning har de gamla överslagsberäkningarna av torktider blivit omoderna. Genom det intensiva forskningsarbete som i dag äger rum i Sverige angående betonguttorkning, har en stor mängd ny kunskap framkommit. Därför beslutade projektgruppen att ta fram en enkel och användarvänlig uttorkningslathund, vilken skulle vara baserad på dessa för branschen nya rön.

Genom att använda de nya ingångsparametrar vilka har tagits fram vid avdelningen byggnadsmaterial av Göran Hedenblad kunde en stor del av osäkerhetsfaktorer elimineras /7/. Detta i kombination med ett noggrant urval av de viktigaste uttorkningsparametrarna ger en relativt god träffsäkerhet för uttorkningstiderna.

En förutsättning för att de vid LTH framtagna värdena skulle kunna användas praktiskt var att dessa data komprimerades i hop till ett behändigt format. Projektgruppen beslutade att detta skulle vara körkortsformat. Lathunden kan således bäras med i plånboken och genom dess litenhet är den billig att producera.

De uttorkningstider som fås genom användning av lathunden är baserade på betongens vct. Vct kan du enkelt få genom att ta kontakt med din betongleverantör. Traditionella uttorkningslathundar baserats på K-värden, vilket har gått bra då K-värdet har varit knutet till vct. På senare år har det blivit vanligare med flyttillsatser och andra främmande ämnen i betongen, vilket har gjort att K-värdet inte längre är en bra utgångspunkt för att beräkna uttorkningstider.

Lathunden är uppbyggd kring ett standardbjälklag där du själv väljer vct och den RF nivå (85% eller 90%) du önskar eller beställaren kräver att betongen skall uppnå efter färdig torkning. Detta standardbjälklag har följande förutsättningar.

Tjocklek: 18 cm

Temperatur: +18C

Luftens RF: 60%

Dubbelsidig uttorkning

Härdning: 14 dagar vatten (regn) + 14 dagars membranhärdning (fuktig luft).

Genom att korrigera standarduttorkningstiden med dina förutsättningar, kommer en bra skattning ges av hur lång tid det kommer att ta för ditt bjälklag att torka ut. Korrigeringen sker genom att standarduttorkningstiden multipliceras med ett antal faktorer.

Lathundens faktorer tar inte hänsyn till inblandning av silika i betongen. En sådan inblandning ger kortare uttorkningstider, vilket gör att lathunden ger uttorkningstider som är på den säkra sidan.

FAKTOR 1. Standarduttorkningstid

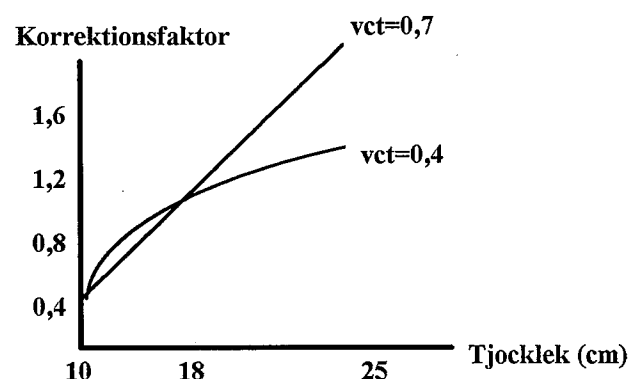
Genom att ta kontakt med din betongleverantör får du reda på vilket betongens vct är. När detta är gjort beslutar du dig för eller får krav från beställaren om betongen skall ha uppnått 90 % eller 85 % RF vid mattläggning. Vi rekommenderar 85%. Därefter utläser du din standarduttorkningstid.

	vct			
RF	0,4	0,5	0,6	0,7
85%	50	90	135	180
90%	20	35	65	95

FAKTOR 1

FAKTOR 2 Konstruktionstjocklek.

Att tjockleken påverkar uttorkningstiden är bekant sen gammalt. Det som är nytt är att betonger med olika vct påverkas olika i uttorknings hänseende av en tjockleksförändring. Det klassiska sättet att se på tjockleksinverkan är således inte fullständigt korrekt. Genom att användningen av betonger med låga vct har ökat explosionsartat under senare tid har det blivit allt viktigare att ta hänsyn till detta faktum.



Figur 16. Schematisk bild av uttorkningstid med avseende på konstruktionstjocklek.

För att kunna ta hänsyn till detta faktum vid bestämningen av uttorkningstiden använder vi oss av nedanstående tabell. Du får fram din korrektionsfaktor genom att ange vct och konstruktionstjocklek.

	vct			
t(cm)	0,4	0,5	0,6	0,7
10	0,4	0,4	0,4	0,4
15	0,8	0,8	0,8	0,7
18	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,1	1,1	1,1	1,2
25	1,3	1,4	1,5	1,8

FAKTOR 2

FAKTOR 3. Enkel eller dubbelsidig uttorkning.

Det ter sig naturligt att bjälklaget kommer att torka ut snabbare med dubbelsidig uttorkning än med enkelsidig. Sen tidigare vet vi att tjocklekens betydelse för uttorkningen är beroende av vct. Det innebär att vct påverkar korrektionsfaktorn för enkelsidig uttorkning. I dags läget är denna korrektionsfaktor något osäker men den ger en god skattning och bör därför användas.

vct	0,4	0,5	0,6	0,7
enkel	2,0	2,3	2,6	3,2
dubbel	1,0	1,0	1,0	1,0

FAKTOR 3

Problemet med användandet av denna faktor har till viss del varit att definiera vad som är enkelsidigt uttorkande. Förespråkarna för plattbärlag (filigranbjälklag) hävdar att dessa har en dubbelsidig uttorkning. Forskning under senare tid indikerar att det är riktigt att anse det som dubbelsidigt uttorkande om tjockleken på bjälklaget räknas som totaltjockleken. Pågjutning + plattjocklek.

FAKTOR 4. Temperatur och luftfuktighet.

Självklart har temperatur och relativ fuktighet i luften betydelse för hur snabbt betongen torkar ut. Genom att utsätta betongen för torr varm luft kommer torktiderna att kunna reduceras drastiskt. Därför ingår även detta som en av lathundens fyra korrektionsfaktorer. Vilken temperatur och relativ fuktighet luften har under uttorkningsskedet är något du till stor del kan styra själv. Här finns således tid att spara om du ser till att arbetsplatsen får ett bra torkklimat. Normal torkklimat har en RF på ca 70 %.

Relativ fuktighet	Temperatur			
	10	18	25	30
35%	1,2	0,8	0,7	0,6
50%	1,2	0,9	0,7	0,6
60%	1,3	1,0	0,8	0,7
70%	1,4	1,1	0,8	0,7
80%	1,7	1,2	1,0	0,9

FAKTOR 4

FAKTOR 5. Härdningsmetoder

För att uppnå en torr betong är det viktigt att uttorkningen startar så snart som möjligt efter gjutning. Då är betongen som mest öppen och fukten kan tränga ut, därför är det viktigt att uttorkningen kommer i gång så fort som möjligt. En följd av detta är att härdningsmetoden påverkar uttorkningstiden. När du bestämt dig för härdningsmetod går du in i tabellen och tar fram faktor 5. Tabellen gäller fallet när du vill nå 90 % RF. För fallet med 85 % RF gäller att korrektionsfaktorn är 1,4 om betongytan utsätts för 4 veckors regn, annars är faktorn 1,0.

Härdning (gäller uttorkning till 90 % RF)	Korrektionsfaktor		
	vct		
	0,5	0,6	0,7
Torr väderlek	0,5	0,6	0,7
4v fuktig luft alt. tät täckning	0,5	0,7	0,8
2v regn+ 2v fuktig luft	1,0	1,0	1,0
4v regn	1,0	1,3	1,3

FAKTOR 5

Uttorkningstid

Nu har vi tagit fram alla nödvändiga delar för att räkna ut uttorkningstiden.

Uttorkningstidens start sker från den tidpunkt då konstruktion inte längre tillförs mer fukt. (konstruktionen är tät) OBS. Tänk på att ge konstruktionen konstanta förhållanden, jämn temperatur, RF osv.

Multipluera ihop alla faktorer.

$$FAKTOR1*FAKTOR2*FAKTOR3*FAKTOR4*FAKTOR5 = \underline{\text{Minimitorktid i dagar}}$$

De uttorkningstider som fås är inte exakta. Men de ger en god skattning av hur länge betongbjälklaget bör torka. De uttorkningstider som ges i lathunden kan korrigeras för inblandning av silika. 10% inblandning av silika kommer att ge en halvering av uttorkningstiden och 5% inblandning av silika kommer att ge en halvering av uttorkningstiden för vbt ≤ 0,5.

5.4 Uttorkningstider

Med lathunden som grund beslutade vi att gå igenom ett antal projekt där JM, SKANSKA, eller NCC har fungerat som entreprenör, vi fick tillgång till tidplaner och arbetsförutsättningar för följande objekt.

Objekt 1

14 veckor mellan golvgjutningens slut och sista golvspacklingen => 11 veckor mellan torkstart och torkslut = **77 dagar.**

Filigranbjälklag 4+18 cm.

3 veckor mellan gjutning och torkstart.

Torkutrustning som ger en temperatur ca 20°C, 70% RF

K35, vct = 0,59

Härdning: 2 veckor regn + 2 veckor fuktig luft

$65 * 1,2 * 1 * 1,0 * 1 = 78$ **dagar**

Objekt 2

14 veckor mellan golvgjutningens slut och sista mattläggning => 6-8 veckor mellan torkstart och torkslut = **48-56 dagar.**

Platsgjutet 20 cm ,dubbelsidig uttorkning

K25, vct = 0,8

RF 60%, T = 18°C

Härdning: 2 veckor regn + 2 veckor fuktig luft

$95 * 1,2 * 1,0 * 1,0 * 1,0 = 114$ **dagar.**

Beräkning avser vct=0,7

Objekt 3

15 veckor mellan golvgjutningens slut och sista mattläggning => 9 veckor mellan torkstart och torkslut = **63 dagar**.

K35, vct= 0,59

Filigranbjälklag 5+19cm vi räknar med dubbelsidig uttorkning 24 cm.

RF 60% T= 18°C

Härdning: 2 veckor regn + 2 veckor fuktig luft

$65 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 98$ **dagar**

Objekt 4

Gjutning skedde 930416 och mattläggningen skedde 930907. Konstruktionen ansågs tät fr.o.m 930622, då värme började tillföras. K35 vct 0,55. torktid=**75 dagar**

Valven har 200 mm tjocklek.

Temp 18°C, RF=60%

Platsgjutet, dubbelsidig uttorkning.

Härdning: 2 veckor regn + 2 veckor fuktig luft

$50 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 83$ **dagar**

Objekt 5

Tidsdifferens mellan tätt hus och mattläggning 17 veckor = **119 dagar**.

Platsgjutet dubbelsidig uttorkning 180 mm.

Temp 18°C, RF=70%

Betong K25, vct 0,8

Härdning: 2 veckor regn + 2 veckor fuktig luft

$95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,0 = 105$ **dagar**

Objekt 6

Tidsdifferens mellan tätt hus och matläggning 6 veckor = **42 dagar**

vct 0,6

Betonggjutningstjocklek 80 mm

Platsgjutet, dubbelsidig uttorkning

Temp 10°C, RF=60%

Härdning: 2 veckor regn + 2 veckor fuktig luft

$65 * 0,4 * 1,0 * 1,3 * 1,0 = \mathbf{34 \text{ dagar}}$

Objekt 7

1 vecka mellan gjutning och uttorkningsstart. 13 veckor mellan torkstart och matläggning.
 $13 * 7 = \mathbf{91 \text{ dagar}}$

Filigranbjälklag pågjutning 20 cm + 5 cm = 25 cm

Vi räknar med dubbelsidig uttorkning. (kan ifrågasättas)

RF 70% temperatur 18°C

Härdning: Torr väderlek

vct = 0,6

$65 * 1,5 * 1 * 1,1 * 0,6 = \mathbf{65 \text{ dagar}}$

Objekt 8

1 månad mellan gjutning och uttorkningsstart. 10 veckor mellan torkstart och matläggning.
 $10 * 7 = \mathbf{70 \text{ dagar (10 veckor till parkett) Hus 8 plan 6}}$

Filigranbjälklag pågjutning 18+5cm

Vi räknar med dubbelsidig uttorkning. (kan ifrågasättas)

RF 60% temperatur 18°C, vct = 0,65

Härdning: 4 veckor fuktig luft alt. tät täckning

$80 * 1,5 * 1,0 * 1,0 * 0,8 = \mathbf{96 \text{ dagar}}$

Objekt 9

1 månad mellan gjutning och uttorkningsstart. 31 veckor mellan torkstart och matläggning.
 $31v = 217$ dagar till 85 % RF.

Filigranbjälklag pågjutning 18 cm + 5 cm = 23 cm

Vi räknar med dubbelsidig uttorkning. (kan ifrågasättas)

RF 60% temperatur 10°C

Härdning: 2 veckor regn + 2 veckor fuktig luft

$vct = 0,6$

$135 * 1,4 * 1,0 * 1,3 * 1,0 = 245$ dagar

Objekt 10

1 månad mellan gjutning och uttorkningsstart. 25 veckor mellan torkstart och matläggning.
 $25v = 175$ dagar till 85 % RF.

Filigranbjälklag pågjutning 18 cm + 4 cm = 22 cm

Vi räknar med dubbelsidig uttorkning. (kan ifrågasättas)

RF 60% temperatur 10°C

Härdning: 2 veckor regn + 2 veckor fuktig luft

$vct = 0,55$

$115 * 1,2 * 1,0 * 1,3 * 1,0 = 180$ dagar

Objekt 11

1 månad mellan gjutning och uttorkningsstart. 18 veckor mellan torkstart och matläggning.
18v = **126 dagar till 85 % RF**

Filigranbjälklag pågjutning 18 cm + 5 cm = 23 cm

Vi räknar med dubbelsidig uttorkning. (kan ifrågasättas)

RF 60% temperatur 10°C

Härdning: 2 veckor regn + 2 veckor fuktig luft

vct = 0,50

$90 * 1,3 * 1,0 * 13 * 1,0 =$ **152 dagar**

Objekt 12

1 månad mellan gjutning och uttorkningsstart. 13 veckor mellan torkstart och matläggning.
13v = **91 dagar till 85%**

Filigranbjälklag pågjutning 18+5cm

Enkelsidig uttorkning.

RF 60% temperatur 10°C

Härdning: 2 veckor regn + 2 veckor fuktig luft

vct = 0,45

$75 * 1,3 * 1,0 * 1,25 * 1,0 =$ **122 dagar**

Objekt 13

1 månad mellan gjutning och uttorkningsstart. 9 veckor mellan torkstart och matläggning.
9 v = **63 dagar**

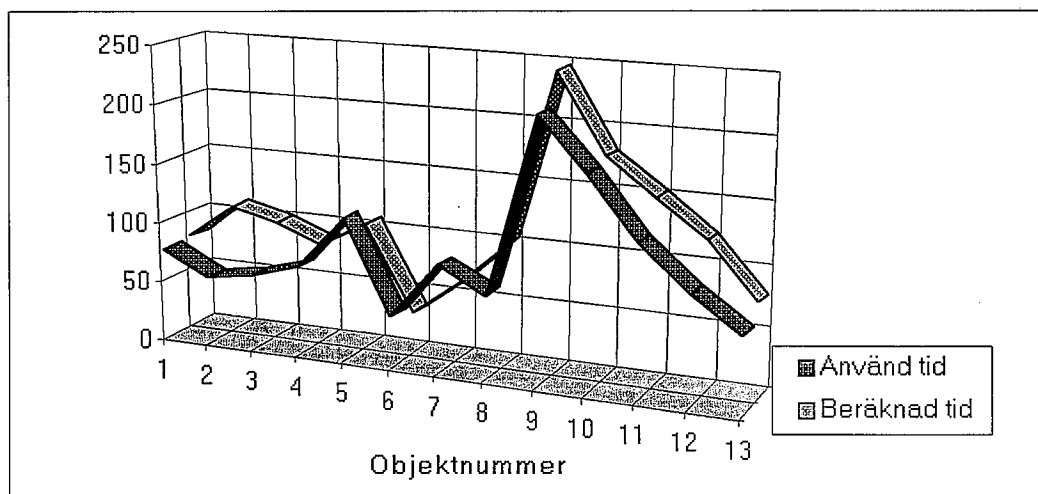
Filigranbjälklag pågjutning 17 cm + 4 cm = 21 cm

Dubbelsidig uttorkning (kan ifrågasättas)

RF 60% temperatur 10°C

Härdning: 2 veckor regn + 2 veckor fuktig luft., vct = 0,55

$50 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 =$ **78 dagar**



Figur 17. Beräknad uttorkningstid i relation till den verkliga.

Vi ser en relativt god överensstämmelse mellan beräknad och verklig uttorkningstid. För objekt 1-8 och 13 gäller att RF har uppmätts till 90% vid mattläggningstillfället och för objekt 9-12 uppmättes 85 % RF.

Objekt 1,3 och 8 är plattbärlag med vct omkring 0,6, i beräkningarna har vi ansatt korrektionsfaktorn för enkel/dubbelsidig uttorkning till 1,0 samt korrigerat för filigranbjälklag genom att räkna med totala tjockleken (gjutning+ filigranplatta) som bjälklagstjocklek.

Det här underlaget är långt ifrån statistiskt korrekt men de ger i alla fall en hyfsad bild av hur det ser ut i dagsläget. En viss risk finns att de projekt som har presenterats för gruppen är "mönsterprojekt" där företagen har varit extra noggranna i fuktdimensioneringen. Antagligen har en större del av byggprojekten snålt tilltagna uttorkningstider, än vad vår undersökning ger sken av.

För objekt nr 2 har vi svårt att se om uttorkning i huvud taget kan ha skett. Vi kommer att studera det närmare och försäkra oss om att vi inte har begått något fel i beräkningsparametrarna.

Härdningsfaktorerna är något osäkra för de studerade objekten.

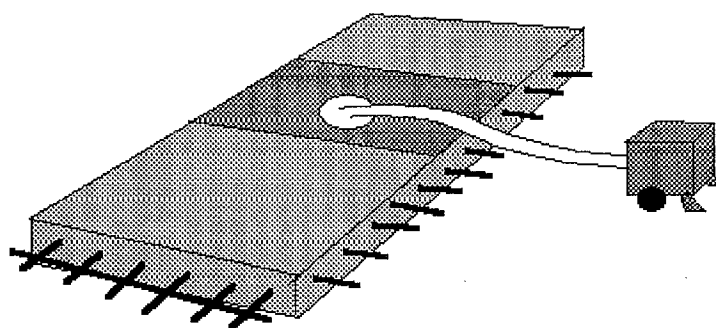
5.5 Andra metoder att nå korta uttorkningstider.

Lathunden är naturligtvis inte fullständig. Således finns det andra sätt att korta uttorkningstiderna än genom förändring av de parametrar som anges där.

Vakuumsugning är en sådan metod. /10/ Genom att man med hjälp av en vakuumpump utnyttjar atmosfärstrycket till att pressa ut så mycket av blandningsvattnet som möjligt ur den färska betongmassan uppnår man ett betydligt kortare uttorkningsförlopp. En förutsättning är dock att andelen finmaterial är liten, då detta material förhindrar att vattnet sugs upp /3/.

I snabbtorkande betonger med stor andel cement är andelen finmaterial stor. Det gör att den här metoden passar inte till dessa betongkvaliteter. Däremot förkortar den uttorkningstiderna betydligt för betonger med kvaliteter upp till K-25 ($v_{ct} = 0,7$). Enligt rapporten 90-talets golv /3/ kan uttorkningstiderna för dessa kvaliteter sänkas till en tredjedel vid användning av vakuumsugning vid tunna plattjocklekar.

För att vara på den säkra sidan är det bäst att kontrollera betongens sugbarhet innan betongen anländer till byggarbetsplatsen. Detta sker med det så kallade TREVAC-testet enligt SS 13 72 18 före leverans från betongstationen.



Figur 18. Vakuumsugning av nygjuten betongplatta.

Tiden för vakuumbehandlingen bör vara minst en och en halv minut per centimeter plattjocklek. Innan sugningen avslutas bör den utsugna vattenmängden ligga mellan 15 och 25 % av betongens ursprungliga vattenmängd. Det är viktigt att dokumentera hur stor mängd vatten som har sugits upp för att nå en bättre förståelse av den nya uttorkningstiden. Vakuumsugning är en relativt billig metod men trots dess fördelar används den relativt sparsamt vilket ofta beror på att metoden stöter på problem med uppstickande armering vilket gör den svår att använda vid husbyggnad.

5.6 Aktuella och intressanta faktaprojekt

Cementa

Byggentreprenörer och projektörer har ett stort behov av att snabbt nå information om säkra och bra detaljlösningar. Detta gäller i såväl projekteringsskedet som utförandeskedet. En metod för detta är en databas som håller på att byggas upp av Svenska fabriksbetongföreningen i samarbete med Cementa och Byggforskningsrådet. Hittills har ett 30-tal typdetaljer utarbetats och de är framförallt inriktade på fuktsäkra typdetaljer för flerbostadshus. Databasen är ännu i uppbyggnadsskedet, men inom en snar framtid kommer den att bli ett kraftfullt hjälpmedel.

Chalmers Tekniska Högskola.

Byggfuktfri betong Kristina Norling Mjörnell

Rapporten studerar självuttorkande betong. Projektet hade som syfte att ta fram en betong som når en relativ fuktighet under 90% inom en till två månader oberoende av uttorkningsförhållanden. Dessutom skulle fuktförändringarna över tiden beskrivas. I rapporten beskrivs allt från tänkbara risker med högpresterande betong i bostadshus till nya rön för hur alkaliteten påverkar relativa fuktmätningar.

Effektiv byggtorkning- rekommendationer för metodval och uppföljning Sune Almkvist, Lars-Olof Nilsson

Delar av Nationella projektet om högpresterande betong. Lars-Olof Nilsson m.fl.

Sprickbildning i färsk betong av tidig uttorkning, Adrian Radocea.

Datorprogrammet wet för beräkning av byggfukt i betongkonstruktioner.

Inneklimatstudier med inriktning på emissioner från materialtekniska system. Helena Wengholt Johnsson.

Projektet studerar hur olika betongkvaliteter reagerar med ytskikt. I projektet studeras emissionsmängder och typer för dessa kombinationer.

Ta kontakt med institutionen för Byggnadsmaterial för mer information: tel:031-7721000

Lunds Tekniska Högskola

Stora delar av nationella projektet om högpresterande betong. Göran Fagerlund, Bertil Persson m.fl.

Långtidsuttorkning av filigranbjälklag. Bertil Persson

I rapporten visas att filigranbjälklag av högpresterande betong är att betrakta som dubbelsidigt uttorkande.

Högpresterande pågjutningsbetong, Magnus Aevvarsson, Aram Rahim

Uttorkning av byggfukt i betong, Göran Hedenblad

Rapporten tar upp det faktum att k-värdet inte är en bra utgångspunkt för bestämning av uttorkningstider. I rapporten beskrivs korrektionsfaktorer för en ny lathund baserad på vct-värden. Skriften innehåller betongtorkningens principer, erforderliga uttorkningstider för olika betongkvaliteter, fuktmättningsprinciper och ett utförligt resonemang kring behandlingen av mätdata.

Torktider för betong efter vattenskada Göran Hedenblad

*Studier av betonguttorkning utförda i fält och jämföra med mätningar i laboratorium.
Bengt Linné, Peter Utgenannt.*

Ta kontakt med Göran Hedenblad institutionen för Byggnadsmaterial för mer information: tel:046-1070000

Luleå Tekniska Högskola

Jan-Erik Jonasson undersöker pH-nivåer för olika betongkvaliteter. LuTH har dessutom tagit fram ett datorprogram för beräkning av uttorkningstider.

Försök att nå betong med vbt 0,19-0,24

Ta kontakt med Jan-Erik Jonasson institutionen för Byggnadsmaterial för mer information: tel:0920-91000

6. Skadeorsaker.

Skadeorsakerna är komplexa, det är inte så enkelt att man kan skylla allt på fukten. Samspelet mellan betongens ingående komponenter och angränsande materials resistens mot dessa är minst lika viktig. Det som händer är att fukten sätter igång oönskade reaktioner.

För att förebygga detta krävs att man arbetar i två steg.

1. Bygg inte in ämnen som reagerar med fukt eller alkalitet eller kombinationen fukt och alkali.
2. Bygg in minimalt med fukt och konstruera så att framtida läckor undviks.

En stor del av lösningen för att nå friska hus är att använda det sunda förnuftet, här följer några goda råd.

- Ge byggnaden en möjlighet att torka ut från början. Ställ krav på projektörerna att dimensionera huset även med avseende på uttorkning.
- Täck in huset under hela byggtiden, betongen börjar inte torka förrän det är täckt.
- Montera taket först, därefter ytterväggarna.
- Täck arbetsplatsen över natten.
- Ta del av väderprognoserna och planera gjutningarna efter dessa.
- Se till att täta ordentligt kring genomföringar.
- Kvalitetssäkra fallen runt avloppen, det finns utmärkta metoder för att få korrekt fall t.ex. fallformar.

Att göra detta kan upplevas som jobbigt, därför krävs det att ledningen för bygget alt. företaget har sådan kunskap att de med kraft kan genomdriva och övertyga personalen om att det här är absolut nödvändigt.

Det är dessutom viktigt att entreprenadföretagen kvalitetssäkrar sitt byggande på ett annat sätt än idag. Detta kan t.ex. göras genom att betongens och luftens temperatur och fuktighet mäts kontinuerligt under hela byggtiden. Undersökningar visar på ett klart samband mellan luftens temperatur och relativa fuktighet vid gjutning och RF i betong flera år efter färdigställandet./13/

Andra bitar är att noga bokföra när och var fukt läcker in under byggskedet. En kvalitetssäkring av byggandet är en förutsättning för att vi på ett effektivt sätt skall kunna använda oss av befintliga objekt som referens. Det krävs här en öppenhet från entreprenörerna att våga presentera sina problemobjekt. Liknande idéer skissas av Nikolaj Tolstoy i hans avhandling *The Condition of buildings* /12/.

Vid högskolorna pågår ett intensivt arbete för att komma till rätta med fuktproblemen. Från entreprenörshåll krävs att en kompetens byggs upp vilken kan förmedla denna kunskap ut på

arbetsplatserna. En möjlighet vore att entreprenörerna samordnade sina resurser och gemensamt skapar en grupp vilken har till uppgift att samla in information om fukt, sampel mellan olika byggmaterial, metoder att kvalitetssäkra bygget, tar del av objekt där problem har uppstått, och på ett lättförståeligt sätt presentera detta för konstruktörer och entreprenörer.

Slutsatser

Enkätundersökningarna visar att det finns ett stort kunskapsglapp mellan rådgivande konsulter, entreprenörernas produktionspersonal och högskolor. Produktionspersonalen har ett stort behov av ökad kunskap och anser själva att de har en för låg kunskapsnivå. De anser att de framförallt behöver enklare torkmetoder och förbättrade mätmetoder. I stora delar av landet görs endast fuktindikeringsmätningar vilka har en betydande felmarginal.

Beställarna litar på att entreprenörerna har erforderlig kunskap i fuktfrågor, vilket gör det viktigt att entreprenörernas kompetensnivå är hög. Projektörerna befattar sig för de mesta överhuvudtaget inte med de här frågorna utan inriktar sig helt och hållet på hållfasthets och ljudkrav. Det vore önskvärt om fuktdimensioneringsproblematiken togs upp redan i skolan, på samma sätt som hållfasthets och ljudkrav.

En förutsättning för att bygga sunda hus är en hög kunskapsnivå och strikta regler. Regler måste införas så att projektören redan i projekteringsstadiet dimensionerar bygget med avseende på fukt, t.ex. genom att skriva in krav på kritisk fuktnivå säkerhetsmarginal etc, minimala torkförutsättningar. Konstruktören skall dessutom dimensionerar minimala torktider med hjälp av tillgänglig litteratur. Sedan är det upp till byggaren att minimera byggtiden genom att ge betongen optimala uttorkningsförutsättningar.

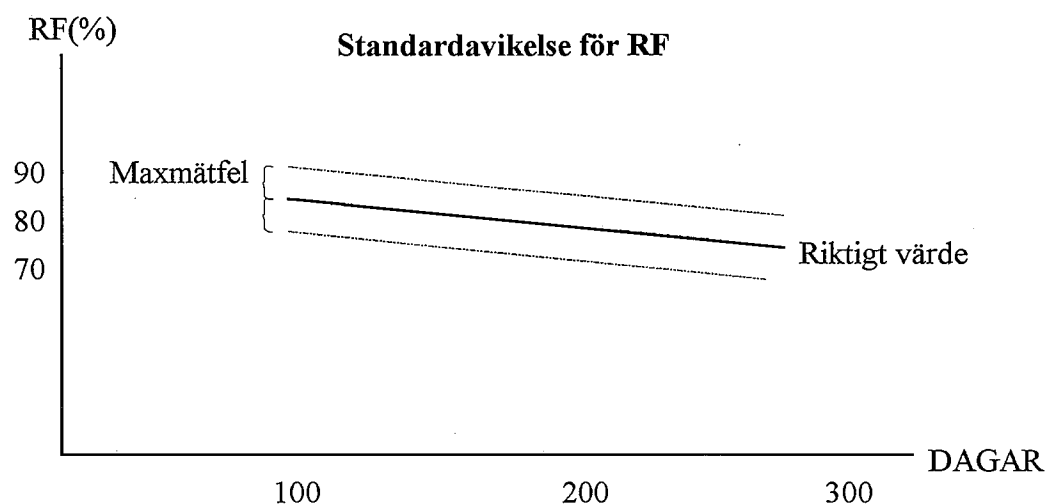
Vill byggaren korta uttorkningstiden gentemot den projekterade måste han klart ange vilka förändringar i uttorkningsförutsättningar denna förkortade uttorkningstid kan hänföras till. Det kan t.ex. vara häringssätt, ändringar av vbt, inblandning av silika, eller en dokumenterad metod att nå ett bättre uttorkningsklimat. Syftet skall vara att byggaren ges en möjlighet att kvalitetsdeklarera byggnaden med avseende på inbyggd byggfukt.

Genom att göra detta kommer vi att skapa ett konkurrensneutralt system, där byggaren får ett incitament att utforma torkprocessen på ett optimalt sätt. En förutsättning för att detta skall fungera är att uttorkningsprocessen kvalitetssäkras. Det gäller att kontrollera sådana parametrar som härdningssätt, luftens temperatur och relativa fuktighet kontinuerligt under uttorkningsprocessen.

Systemet kommer även att underlätta beställarens roll. Vid fuktskador på grund av byggfukt kommer han enkelt att kunna följa upp hur uttorkningen har skett. Det gör det betydligt enklare att följa upp vad som kan ha gått fel och ger en bra grund till en fungerande kunskapsåterföring, vilken dessvärre till stora delar saknas i dag.

Metoden att mäta betongens relativa fuktighet och förutsätta olika maximala relativa fukthalter för mattläggning är vällovligt. Problemet är att mätningarna oftast är behäftade med så stora mätfel att risken blir väldigt stor att man tar det mest fördelaktiga värdet man fått och tar det för intäkt att allt är ok.

Vi anser att det i normalfallet är bättre att både ange minimitorktider, kvalitetssäkra byggnationen genom uppföljning av yttre förhållanden och göra fuktmätningar innan mattläggning. Det uppmätta värdet skall vara mindre än det eftersträvade värdet-maxmätfel för att mattläggning skall godkännas. Det innebär att en exaktare mätning ger byggaren en möjlighet att lägga matta tidigare än vad annars skulle ha varit möjligt. Därigenom kommer ett incitament att skapas för att handla upp kvalitetssäkrade mätningar med liten felmarginal.



Figur 19. Relativa fuktmätningen felmarginal. (översiktlig bild)

Att se fukten som ett isolerat problem är att göra det för lätt för sig. Det är viktigt att vidga vyerna och inse att samspelet mellan fukt och omgivning är problemet. Fukt fungerar t.ex. som en bärare av alkalitet vilken i sin tur kan bryta ned omgivande material. Frågan är om vi skall våga sänka RF-nivåerna till priset av ökad mängd alkalitet genom att öka portlandcementhalten i betongen.

Det finns alltid en risk för återuppfuktning av betongen, det kan bero på otäta tak eller läckande vattenledningar. Om det sker kommer vi att få en konstruktion med fukt och aggressiv alkalitet. Även om vi försöker är det omöjligt att garantera att inte läckor uppstår i framtiden.

Det är viktigt att studera alternativa metoder att minska uttorkningstiderna. En sådan metod för att minska fukten i normala betonger är att använda vakuumsugning. Denna metod kan minska uttorkningstiderna till en tredjedel. En annan mycket viktig del är att studera nya täckmetoder och utarbeta sådana som är praktiskt användbara ute på arbetsplatserna.

Inom entreprenadföretagen måste en pedagogisk fuktteknisk kompetens byggas upp. Denna skall följa upp objekt med avseende på fuktrelaterade skador, ha nära kontakt med forskargrupper på högskolor, sammanställa material och kunna föra över detta i en användaranpassad form till entreprenörerna.

Högskolorna å sin sida måste verka för att mängden av kunskap sprids mellan dessa och även på ett populärvetenskapligt sätt ut till byggföretagen. Betongfuktskunskap måste byggas upp vid alla högskolor som utbildar väg och vatten ingenjörer.

Vårt förslag är att de stora entreprenadföretagen samordnar sina resurser och bildar en gemensam grupp. Denna grupp skall ha tillgång till företagens material om fuktskadade hus. Allt från projekteringen till de sjukahusutvärderingar som är gjorda. Som vi ser det har alla entreprenadföretag haft ungefär samma problem och för att minska problemen i framtiden måste alla redovisa dessa öppet.

Referenser

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. J Aztely | Golvhandbok |
| 2. J Byfors | Snabbtorkande betong i bostadshus |
| 3. H Carlsson | 90-talets golv |
| 4. B Elmarsson, L E Nevander | Fukthandbok |
| 5. G Hedenblad, M Janz | Inverkan av alkali på uppmätt RH i betong |
| 6. G Hedenblad | Effect of soluble salt on the sorption isotherm |
| 7. G Hedenblad | Uttorkning av byggfukt i betong |
| 8. S Linde | Målade fuktspärrar i golvkonstruktioner |
| 9. Kristina Norling Mjörnell | Self-Desiccation in concrete |
| 10. C Molin | Uttorkning av betongbjälklag med
vakuumbehandling |
| 11. L-O Nilsson | AMA-Nytt 2/91 |
| 12. N Tolstoy | The condition of buildings |
| 13. O Kjellser | Undersökningar av bjälklag med flytspackel |
| 14. J Claesson | Grundläggande termodynamiska
tillämpningar |

Ordlista

- **Vct** : Vct står för vattencementtal. Det är förhållandet mellan mängden(kg) tillfört vatten och mängden(kg) tillförd cement. $vct = (\text{tillfört vatten}) / (\text{tillförd cement})$
- **Vbt** : Vbt står för vattenbindemedelstal. Det är förhållandet mellan mängden(kg) tillfört vatten och mängden(kg) tillförd bindemedel. $vbt = (\text{tillfört vatten}) / (\text{tillförd bindemedel})$. Bindemedel kan t.ex vara cement, silika eller flygaska.
- **K-värde** : K-värdet visar den tryckhållfasthet betongen skall uppnå 28 dygn efter gjutning uttryckt i MPa.
- **Jon** : En kemiskt/elektriskt laddad partikel som antingen har underskott eller överskott på elektroner.
- **Hydroxidjon** : En molekyl/(liten partikel) bestående av en väteatom och en syreatom. Molekylen har ett överskott på en elektron vilket gör att den får en kemisk laddning. Den har den kemiska beteckningen. $(OH)^-$
- **Alkalitet** : Mängden hydroxidjoner i en vattenlösning.
- **pH** : Ett värde som uttrycker alkaliteten. Skalan är så ordnad att en tiodubbling av hydroxidjonerna ger en pH-ökning med 1 steg.
- **Mjukgörare** : Ett ämne som tillförs plastmattor för att dessa skall vara möjliga att böja och arbeta med vid läggningen.
- **Flyttillsats** : En produkt som tillförs betongen för att den skall bli mer lättflytande. Därigenom kan vattenhalten reduceras i betongen.

Bilagor

Produktionsanpassad information om byggfukt i betong, delrapport 1.