

**SBUF Projekt 0088**  
**Fukt i gränssytor mellan material och dess effekter**

## **Sammanfattning<sup>1</sup>**

### **1 Problemställning och mål**

Många beständighetsproblem uppträder i gränssytor mellan material. Exempel är sönderfrysning av puts på tegel, avflagningsfärg, sprickbildning hos ytskikt, vidhäftningsbrott mellan reparationsmaterial och underlag. I nästan alla fall är nedbrytningen kopplad till alltför höga fuktnivåer i gränssytor. Flera beständighetsproblem, t.ex. frostnedbrytning, uppstår enbart om materialen kan ta upp vatten genom mer eller mindre långvarig kapillärsugning. Det har varit mycket svårt att teoretiskt förutse vilka fuktnivåer som kommer att uppstå i dessa fall eftersom man saknar materialdata för beräkning av fukt vid mycket höga fuktnivåer. Dessutom saknas experimentella metoder att bestämma erforderliga materialdata liksom verifierade metoder för beräkning av fukttransport vid höga fuktnivåer. Inte heller har det varit känt hur olika materialegenskaper såsom jämviktsfuktkurvor och porstorleksfördelningar hos angränsande material påverkar fuktförhållandena i gränssytor mellan materialen.

Målet med projektet var att utveckla metoder för bestämning av relevanta materialegenskaper och att tillämpa dessa metoder på ett antal material. Målet var dessutom att undersöka möjligheter att teoretiskt beräkna fuktillståndet i gränssytor genom att jämföra teoretiskt uppmätta fuktprofiler med beräknade profiler baserade på uppmätta materialegenskaper.

### **2 Försöksmetoder**

#### **2.1 Bestämning av jämviktsfuktkurvor**

Sambandet mellan fuktillstånd och fukthalt vid jämvikt bestämdes över hela fuktområdet, från fullständig vattenmättnad till fullständig uttorkning.

Inom det *hygroskopiska området* (0 till ca 98% relativ fuktighet, rf) bestämdes sorptionsisotermen, dvs. sambandet mellan jämviktsfukthalt och rf. Såväl desorptionsisotermen som absorptionsisotermen bestämdes med hjälp av en automatisk sorptionsvåg i vilken omgivande rf ändras i steg enligt ett förprogrammerat schema. Som exempel visas i Fig. 1 sorptionsisotemer för kalkcementbruk.

Inom det *överhygroskopiska området* (rf > 98%) bestämdes den kapillära jämviktsfuktkurvan, dvs. sambandet mellan fukthalt och kapillärt undertryck. Pressure plate-tekniken användes för bestämningen. Det vattenmättade provet placeras på ett finporöst vattenmättat keramiskt filter och innesluts i en tryckkammare. Luftrycket i denna ändras stegvis varvid vatten efter varje

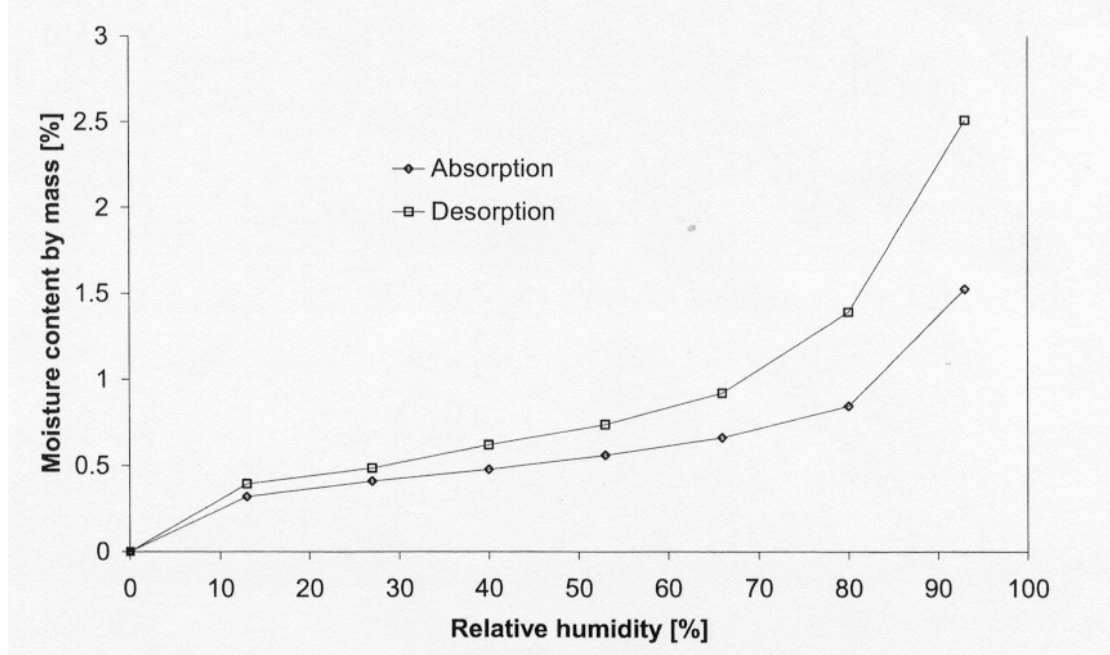
---

<sup>1</sup> ) Sammanfattning av följande slutrapport:

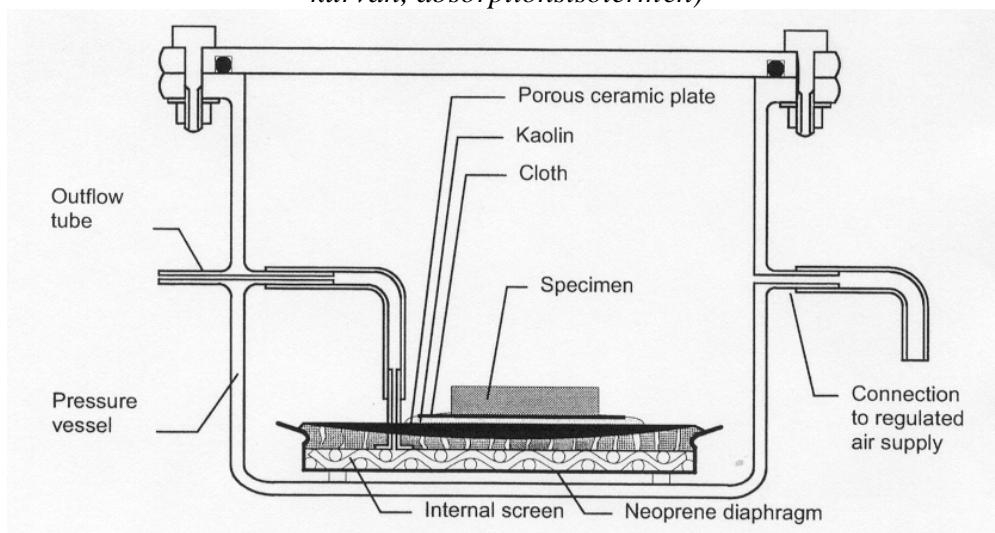
Peter Johansson: *Water absorption in two-layer masonry systems. Properties, profiles and predictions.*  
Avd byggnadsmaterial, LTH, Rapport, TVBM-1024, 2005 (doktorsavhandling)

tryckökning trycks ut ur provet tills en resterande vattenhalt i provet som motsvarar det aktuella trycket uppnått. Utrustningen som använts i de båda lägre tryckområdena (0 till 0,5 MPa resp. 0,5 till 1,5 MPa) visas i Fig. 2. En tredje tryckcell användes för det höga tryckområdet upp till 10 MPa). Mätresultat för kalkcementbruk visas i Fig. 3. Som synes överlappas jämviktsfuktkurvan bestämd med sorptionsvåg av jämviktsfuktkurvan bestämd med pressure plate metoden.

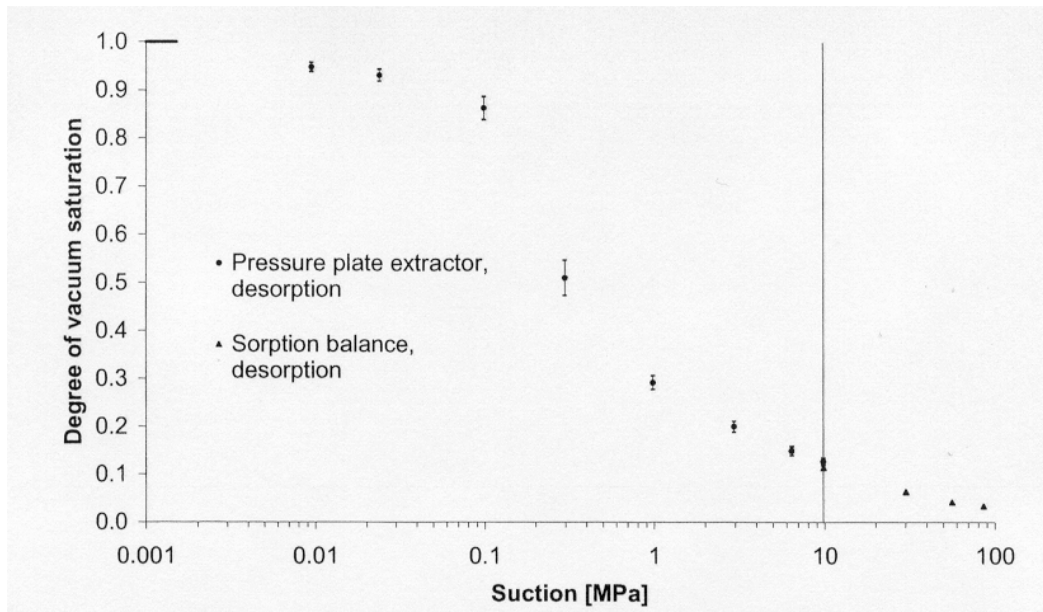
Tyvärr kunde enbart uttorkningskurvan bestämmas med den använda utrustningen. Detta är en nackdel i samband med verifikationen av datorsimuleringarna eftersom dessa måste baseras på uttorkningskurvor medan själva verifikationsförsöket var ett absorptionsförsök.



Figur 1: Sorptionsisotemer för kalkcementbruk. (Övre kurvan desorptionsisotermen, undre kurvan, absorptionsisotermen)



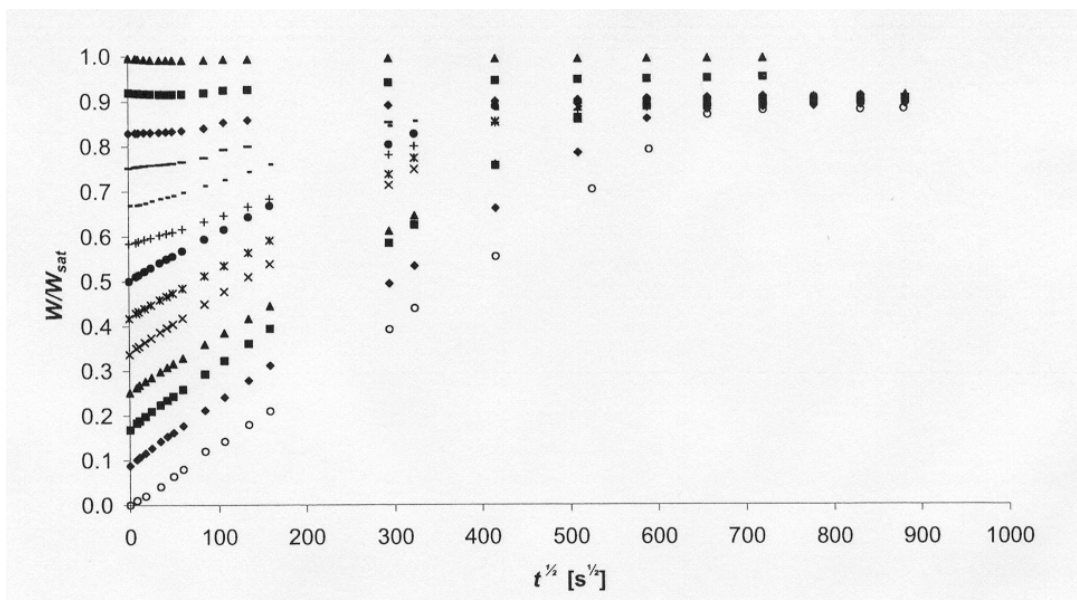
Figur 2: Utrustning för bestämning av kapillär jämviktskurva för tryck upp till 1,5 MPa



Figur 3: Kapillär jämviktsfukturva för kalkcementbruk. Uppmätt desorptionsisoterm för höga  $r_f$  har lagts in längst till höger i diagrammet varvid  $r_f$  i sorptionskurvan översatts till kapillärt undertryck -suction- med hjälp av Laplaces och Kelvins lagar. ("Suction" är detsamma som trycket i mätcellen och uttrycker porvattnets undertryck)

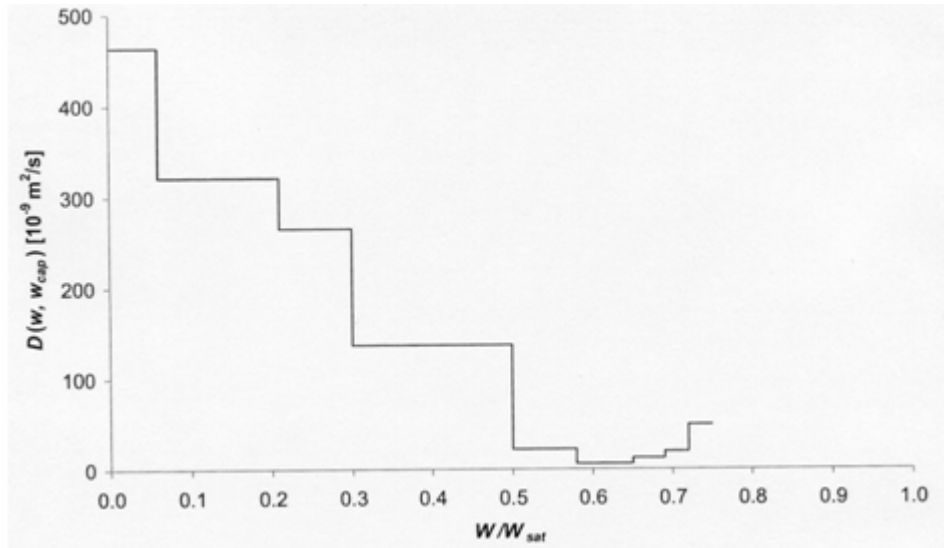
## 2.2 Bestämning av fukttransportkoefficienten

Fukttransportkoefficienten bestämdes över hela fuktområdet på prover som konditionerats till olika nivå och sedan utsattes för ensidig kapillärsugning. Inflödet av vatten mättes. Exempel på uppmätta samband mellan vatteninsugning och kvadratroten ur "sugtiden" visas i Figur 4.



Figur 4: En serie mätningar av vattenabsorptionen i kalksandsten som funktion av tiden för kapillärsugning.

Transportkoefficienten som funktion av fuktnivån utvärderades ur sugförsöken. Resultatspridningen kunde reduceras kraftigt genom att fuktillståndet uttrycktes som porfyllnadsgrad. Exempel på uppmätt fukttransportkoefficient i olika fuktintervall visas i Figur 5.

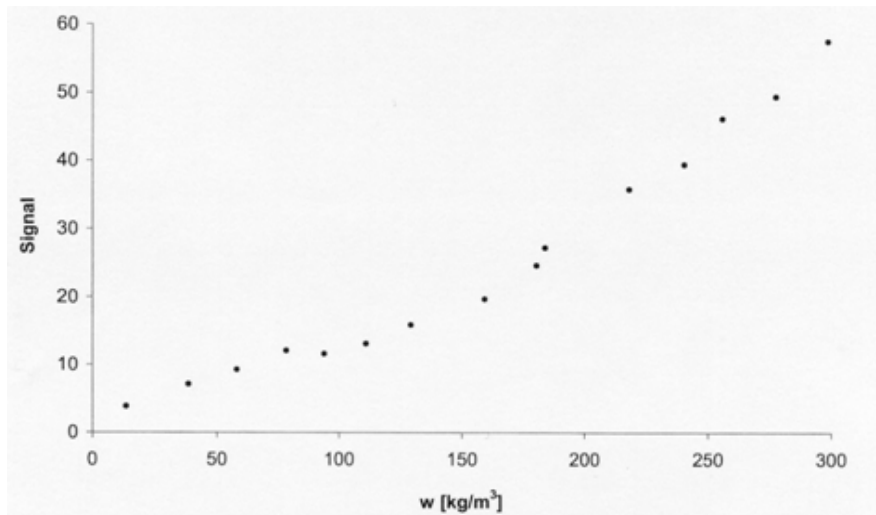


Figur 5: Fukttransportkoefficienten för kalkcementbruk som funktion av porfyllnadsgraden.

### 2.3 Mätmetoder för fuktprofiler under kapillärsugning

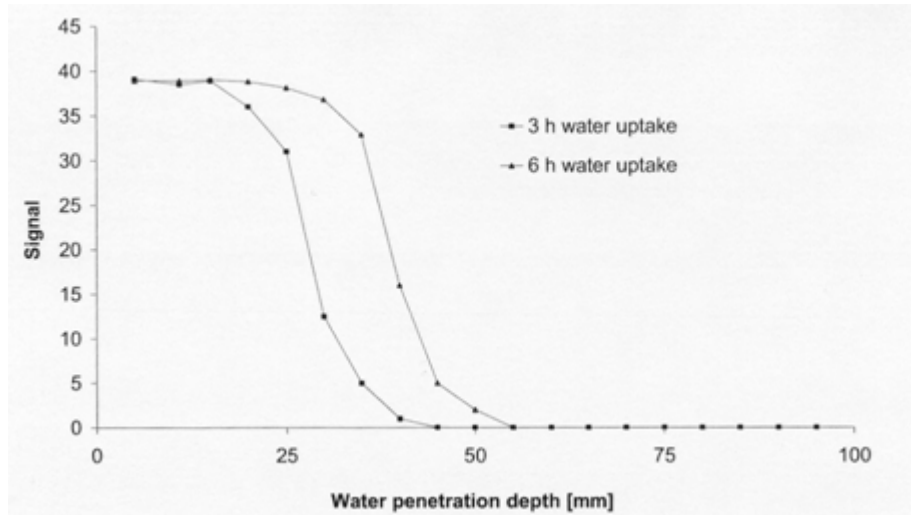
Tre tekniker för bestämning av fuktprofiler studerades; (1) Nuclear Magnetic Resonance (NMR) med vars hjälp den totala vattenhalten i ett smalt ”fönster” vinkelrätt mot fuktflödet kan registreras, (2) ”spräck-och-torktekniken” vid vilken långa kapillärsugande prover efter en förutbestämd uppsugningstid momentant spräcks upp i ett antal skivor som vägs och torkas, (3) termografering med infrarödkamera.

NMR-tekniken gav hög upplösning och är icke-destruktiv. I Figur 6 visas sambandet mellan utsignalen från NMR och provets vattenhalt. Som synes är sambandet mycket väldefinierat. Metoden är dock dyrbar och visade sig även vara känslig för järn i provet.



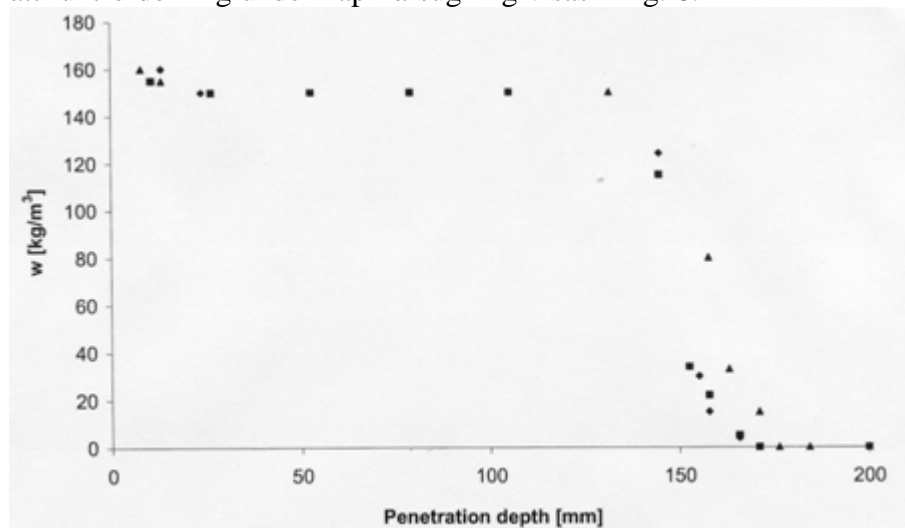
Figur 6: NMR-kalibreringskurva för kalksandsten.

I Fig. 7 visas fuktfördelning under pågående kapillärsugning mätt med NMR. Fuktfördelningen uttrycks i NMR-signal som enkelt översätts till fukthalt genom kalibreringskurvan.



Figur 7: Exempel på NMR-signal under pågående kapillärsugning under 3 resp. 6 timmar. Kalksandsten.

Vid termografering utnyttjas förhållandet att provets ytemperatur beror på dess fukttinnehåll. Metoden är enkel, icke-förstörande och billig men kräver omfattande kalibrering. Ett exempel på en uppmätt fuktfördelning under kapillärsugning visas i Fig. 8.



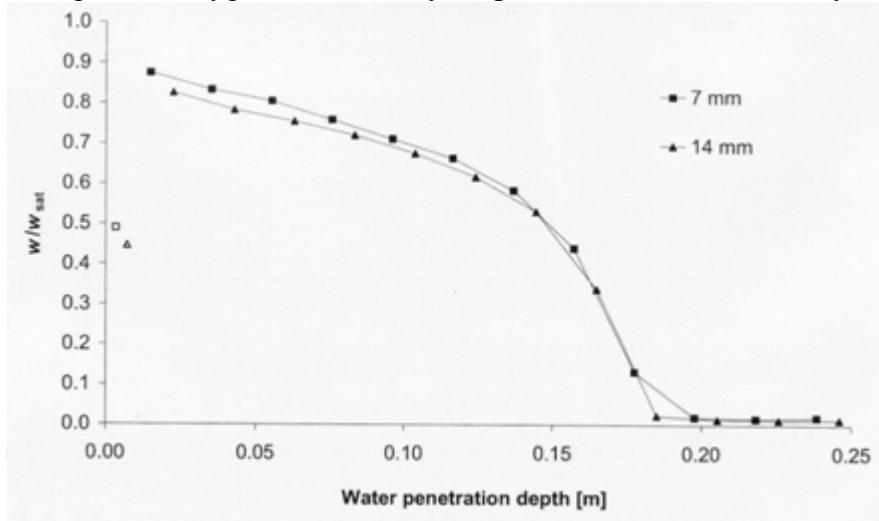
Figur 8: Exempel på fuktfördelning bestämd med termografering. Sandsten

Spräck-och-tork-tekniken visade sig vara enkel och tillförlitlig och var därför den huvudsakliga metoden i kapillärsugningsförsöken som beskrivs nedan. Den ger dock sämre upplösning än NMR-tekniken eftersom den begränsas av tjockleken hos de spräckta skivorna.

### 3 Mätning av fuktprofiler under kapillärsugning

Fuktprofiler under 1-dimensionell vattenabsorption bestämdes för enskilda material och materialkombinationer. Dessa avsågs simulera vanliga fasader av puts på murverk. Såväl tjocklek hos yttre putsskiktet som dess egenskaper varierades. För att undvika effekten av ett geometriskt och egenskapsmässigt odefinierat gränsskikt mellan de båda kombinerade materialen, när dessa gjuts mot varandra, utvecklades en teknik där de båda (hårnade) materialen kunde placeras i direkt kontakt med varandra utan att fuktinflödet påverkades. Exempel på uppmätta fuktfördelningar hos kombinationen kalkcementbruk (7 resp. 14 mm

tjocklek) och kalksandsten visas i Figur 9. Kalkcementskiktet står i kontakt med fritt vatten. Som synes sker ett språng i porfyllnadsgrad vid gränssytan vilket beror på att de båda materialen har olika jämviktsfuktkurva. Tjockleken hos kalkcementbruket spelar ingen roll för vattenupptagningen i stenen. Denna bestäms av stenens egna kapillärsugningsegenskaper. Vid mycket kortare sugtid än 7 dygn kommer det yttre putsskiktet att få större betydelse.

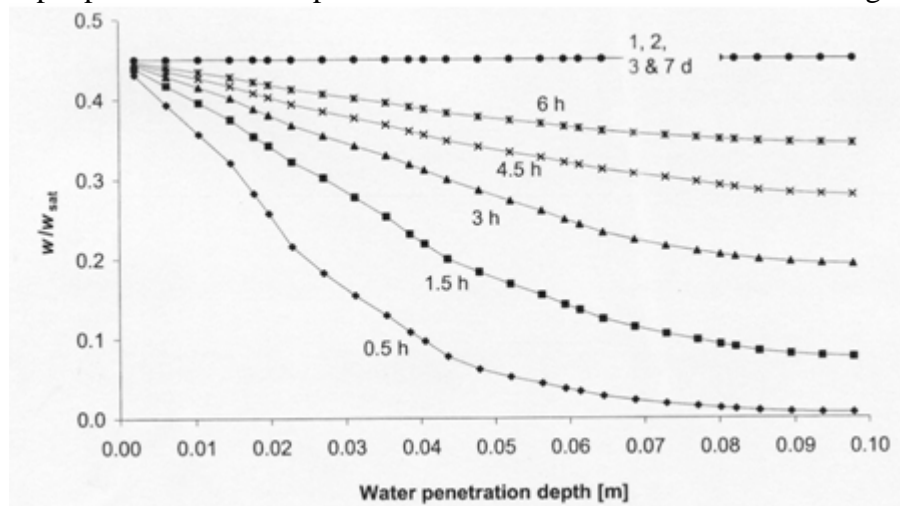


Figur 9: Uppmätt fuktprofil (porfyllnadsgrad) efter 7 dygns kapillärsugning hos kombinationen 7 resp. 14 mm kalkcementbruk lagt på kalksandsten. Ofyllda symboler till vänster är själva brukets porfyllnadsgrad.

#### 4 Datorsimulering av kapillärsugningsförsök

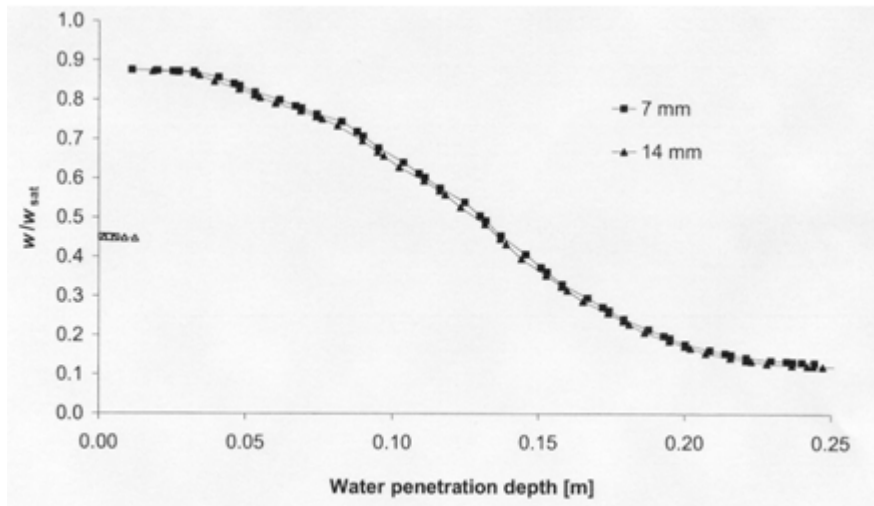
Experimentella materialdata användes i ett existerande fuktberäkningsprogram, JAM-2.0<sup>2</sup>, för att teoretiskt simulera fuktförhållandena hos de experimentella kapillärförsöken. Samma randvillkor användes vid beräkning som vid försök.

Exempel på beräknade fuktprofiler vid 1-dimensionell insugning i kalkcementbruk visas i Fig. 10. Exempel på beräknade fuktprofiler för kombinerade material visas i Fig 11.



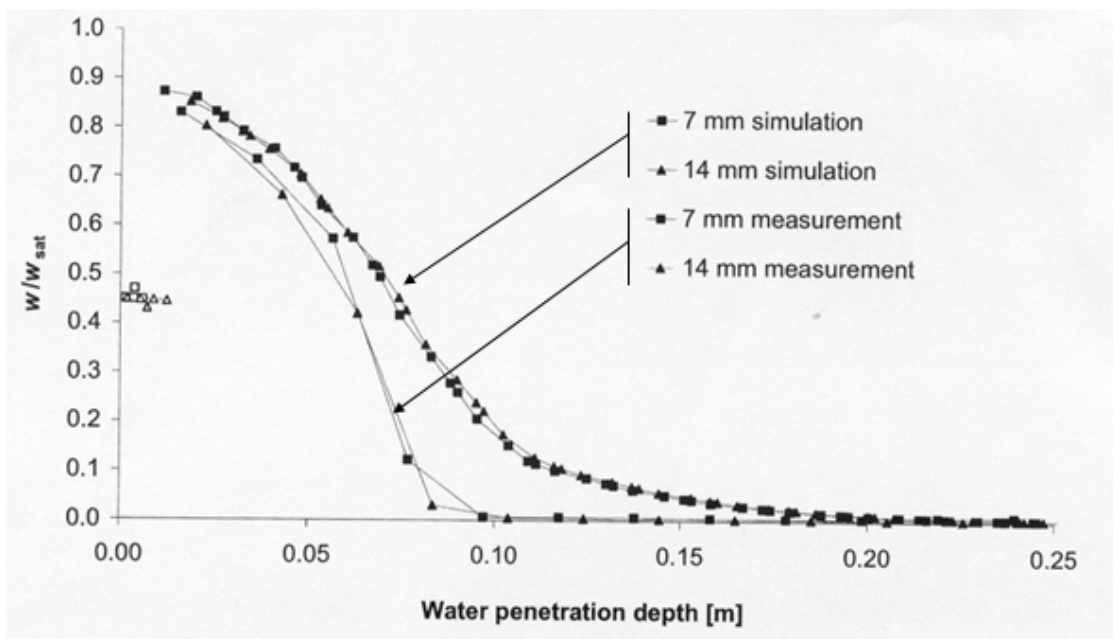
Figur 10: Beräknade fuktprofiler vid 1-dimensionell kapillärsugning hos kalkcementbruk. Olika kurvor gäller för olika absorptionstider.

<sup>2</sup>) Programmet beskrivs i Jesper Arfvidsson: Datorberäkning av två-dimensionell fukttransport. Manual för JAM-2.0. Avd byggnadsfysik, LTH, 1989.



Figur 11: Beräknad fuktprofil för kombinationen kalkcementbruk (7 resp. 14 mm tjockt) på kalksandsten. 7 dygns kapillärsugning.

Datorberäkningarna för materialkombinationer gav tämligen god överensstämmelse med försöksdata. Exempel på detta visas i Fig. 12. Samstämmigheten var sämre när den tillämpades på enskilda material. Analys visade att detta sannolikt beror på felaktigheter hos uppmätta fukttransportkoefficienter vid lägre fuktnivåer.



Figur 12: Kalksandsten med ett lager av kalkcementbruk. Jämförelse mellan mätning och teoretisk beräkning.

## 5 Slutsatser

De mätmetoder som användes för att bestämma de materialkoefficienter som erfordras för beräkning av fukttransport vid mycket höga fuktnivåer visade sig i stort sett fungera väl. Metodik måste dock utvecklas för bestämning av *uppfuktningskurvor* i överhygroskopiskt område. Detta krävs för att man skall förbättra noggrannheten i beräkningarna och för att man även skall kunna beräkna fukttransport vid varierande yttre fuktbelastning. Kapillärsugningsmetoden att ta fram fukttransportkoefficienter är enkel och ger tillförlitliga resultat i det höga fuktområdet. De mätmetoder som studerades och utvecklades för att experimentellt studera fuktfördelningar under pågående fukttransport vid höga fuktnivåer visade sig alla ge goda resultat. Ur praktisk synpunkt är den utvecklade spräck-och-torkmetoden mest användbar. NMR-metoden är överlägsen när det gäller precision, men är dyrbar och kan inte användas för material som innehåller järn. Detta gäller tyvärr flertalet oorganiska byggnadsmaterial. Termograferingsmetoden visade sig ha en viss potential men är känslig för störningar.

Fuktberäkningsprogrammet JAM-2, som främst utvecklats för fukttransport inom hygroskopiskt område, visade sig även kunna användas för beräkning av fukttransport vid mycket höga fuktnivåer förutsatt att relevanta materialegenskaper vid dessa nivåer är kända. Beräkningar av fuktprofiler vid kapillärsugning visade god överensstämmelse med uppmätta fuktfördelningar vid. Överensstämmelsen var bättre för kombinationer av olika cementbruk och kalksandsten än för materialen testade enskilda.

Den utvecklade mät- och beräkningstekniken bör kunna användas för utveckling av materialkombinationer med hög beständighet.