



LUND UNIVERSITY

Kapillaritetsprovning av kalcitbunden sandsten : metodbeskrivning och resultatredovisning

Janz, Mårten

1995

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Janz, M. (1995). *Kapillaritetsprovning av kalcitbunden sandsten : metodbeskrivning och resultatredovisning*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7097). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Byggnadsmaterial

UNIVERSITY OF LUND
LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Division of Building Materials

Kapillaritetsprovning av kalcitbunden sandsten - Metodbeskrivning och resultatredovisning

Mårten Janz

TVBM-7097

Lund, december 1995

Innehållsförteckning

	Sida
1 Inledning	2
2 Metodbeskrivning	3
2.1 Allmänt.....	3
2.2 Försöksuppläggning	3
2.3 Konditionering i det hygroskopiska området	4
2.4 Konditionering i det superhygroskopiska området.....	4
2.5 Kapillärsugning	6
2.6 Densitet och porositetsbestämning	8
3 Resultat	10
3.1 Sugprovning	10
3.2 Jämviktsisoterm, densitet och porositet	15
4 Referenser	18

1 Inledning

Denna rapport presenterar resultat från kapillärsugningsförsök utförda på gotländsk kalcitbunden sandsten. Huvudsyftet med försöken är att få fram resultat från vilka fukttransportkoefficienten D_w [m²/s] kan beräknas. En teori för att beräkna fukttransportkoefficienten från en mätsvit av kapillaritetskoefficienter, A_1, A_2, \dots, A_N [kg/(m² s^{1/2})], korresponderande till olika initiala fukthalter $w_{in} = w_1, w_2, \dots, w_N$ [kg/m³] och kapillärmättnadsfukthalten w_{kap} finns beskrivs i [1]. En numerisk lösning och ett datorprogram baserat på denna teori beskrivs i [2]. Denna rapport begränsar sig till att enbart beskriva de försök som utförts för att ta fram kapillaritetskoefficienter med korresponderande initiala fukthalter, samt att visa och kommentera de resultat som framkommit från dessa försök. Vidare presenteras även uppmätta jämviktisotermer samt resultat från densitets och porositetsmätningar. I [3] finns fukttransportkoefficienter beräknade från vissa av de resultat som presenteras här.

2 Metodbeskrivning

2.1 Allmänt

Målet med försöken är att finna ett samband mellan kapillaritetskoefficienten, A och provets fukthalt vid försökets start, dvs provkroppens initiella fukthalt, w_{in} . För att uppnå detta konditioneras provkroppar i både det hygroskopiska som det superhygroskopiska området till önskad fukthalt, varefter kapillaritetskoefficienten mäts genom att låta de förkonditionerade proven suga vatten kapillärt. Mängden absorberat vatten per tidsenhet mäts av en våg varvid mätdatan automatiskt sparas till en datafil. Mätmetoden är en automatiserad variant av den metod som beskrivs i Betonghandboken, del Material [4]. Från konditioneringen av provkropparna erhålls även en jämviktsisoterm, såväl i det hygroskopiska som i det superhygroskopiska området. För att bestämma fukthalten mäts även skrymdensiteten för varje enskilt prov. Ur denna mätning erhålls även volym, porositet och kompaktdensitet.

2.2 Försöksuppläggning

Samtliga försök är utförda på en kalcitbunden sandsten av typen Uddvide från Slite stenhuggeri på Gotland.

För att konditioneringen skall gå snabbt är det önskvärt att provkropparna till sugförsöken är så små som möjligt. Samtidigt måste proven vara så pass långa i sugriktningen att provet under en period av sugningen uppfattas som en halvoändlig kropp. För att finna en lämplig längd på provkropparna har omfattande förförsök utförts på provkroppar med varierande längd. Resultaten från förförsöken resulterade i provkroppar med en diameter av ca 64 mm och med en längd av ca 25 mm.

Jämviktsisotermen bestäms i det hygroskopiska området på basis av vikten hos provkropparna till sugprovning som konditionerats till jämvikt. Dessutom kompletterades mätningen med speciella isotermprovkroppar som endast används till isotermen. Dessa provkroppar har samma diameter som provkropparna till sugförsöken, dvs ca 64 mm och är ca 4 mm höga.

I det hygroskopiska området konditioneras provkropparna i klimatlådor via både absorption och desorption. Till sugprovningen konditioneras 3 provkroppar per klimat via absorption och 3 via desorption, dvs totalt 6 provkroppar per klimat. Utöver dessa provkroppar konditioneras 2 isotermprovkroppar per klimat via absorption och 2 via desorption, dvs totalt 4 provkroppar. Åtta olika klimatlådor används (se kapitel 2.3) vilket ger 48 provkroppar till sugprovning (24 via absorption och 24 via desorption) och 32 till isotermbestämning (16 via absorption och 16 via desorption).

I det superhygroskopiska området konditioneras provkropparna med hjälp av övertryck. All konditionering sker via desorption. Tre provkroppar per tryck (startfuktnivå) används.

2.3 Konditionering i det hygroskopiska området

I det hygroskopiska området sker konditioneringen både via absorption och desorption. Före konditioneringen bestäms provens torrsvikt genom att provet torkas vid 105°C under 7 dygn varefter de avkyls över blågel och vägs på en våg med upplösningen 1 mg. Desorptionsproven vattenmätas i ett dygn innan konditioneringen påbörjas. För absorptionsproven påbörjas konditioneringen omedelbart efter vägningen. Genom att hela provet befinner sig antingen på absorptionsisotermen eller desorptionsisotermen uppstår inga fuktgradienter över tvärsnittet.

Konditioneringen sker i åtta olika klimatlådor vid ca 20°C. De önskade relativa fuktigheterna (RF) i lådorna skapas med mättade saltlösningar. En fläkt cirkulerar runt luften så att klimatet är lika i hela lådan. De RF och de salter som används är: 11% (LiCl), 33% (MgCl₂), 59% (NaBr), 75% (NaCl), 85% (KCl), 91% (BaCl₂), 94.5% (KNO₃) samt 97,6% (K₂SO₄). Konditioneringen fortgår till dess att ingen viktförändring kan noteras under ett 28 dygns intervall. Fuktkvoten, u_{in} och fukthalten, w_{in} beräknas därefter som:

$$u_{in} = \frac{m_{in} - m_0}{m_0} \quad (2.1)$$

$$w_{in} = u_{in} \cdot \rho \quad (2.2)$$

m_{in} materialets vikt efter konditionering (initial vikt vid sugprovningens start)

m_0 materialets torra vikt

ρ materialets densitet (se kapitel 2.6).

2.4 Konditionering i det superhygroskopiska området

I det superhygroskopiska området sker konditioneringen med så kallade "extractors". Två typer av "extractors" används; "pressure plate extractor" (PPE) för tryck mellan 0 och 15 bar samt "pressure membrane extractor" (PME) för tryck mellan 15 och 100 bar. Funktionen är densamma för de båda typerna. Prov som sugit vatten kapillärt under ett dygn placeras i ett tryckkärl på, och i hydraulisk kontakt med, en vattenmättad keramikplatta (PPE) eller på ett vattenmättat cellulosamembran (PME). Plattan/membranet har ett sådant porsystem att kapillärkrafter klarar av att hålla kvar en kontinuerlig vattenfas vid pålagt tryck (upp till dimensionerat tryck), se Figur 2.1. En tryckdifferens skapas över plattan/membranet genom att önskat övertryck läggs på den sida där provet är placerat, medan den andra sidan utsätts för atmosfärstryck. Det vattenfyllda porsystemet tillåter vatten, men inte luft, att flöda genom plattan/membranet. Vatten pressas ut från provet via plattan/membranet tills dess att portrycket i provet står i jämvikt med pålagt övertryck.

Utrustningen är ursprungligen avsedd för bestämning av kapillaritetsegenskaper hos jordprov, för vilka det är relativt lätt att erhålla en god hydraulisk kontakt mellan prov och platta/membran. För att kunna använda utrustningen på solida material används kaolin som "fogmassa" mellan provet och plattan/membranet. På så sätt skapas en hydraulisk kontakt till provet. Mellan provet och kaolinet placeras en tygduk för att förhindra kaolinet från att

tränga in i provet. Metoden att använda kaolin och tygduk beskrivs i [5]. Försöksupställningen där PPE används visas i Figur 2.2.

När provet placerats på plattan/membranet i tryckkärlet läggs önskat övertryck på, varvid vatten pressas ut från provet och konditioneringen startar. Utflödet från extractorn samlas upp i en byrett och mäts kontinuerligt till dess att inget flöde kan noteras under ett dygn. Konditioneringen antas då vara färdig, dvs portrycket är lika med pålagt tryck. Konditioneringen av sugproven tar 1 - 2 veckor att utföra.

Tre olika keramikplattor med porsystem som klarar att hålla kvar vatten vid tryck upp till 1, 3 respektive 15 bar används. Ju grövre porer desto lägre tryck klarar plattan. Anledningen till att olika keramikplattor används är att det går snabbare att konditionera proven då porerna i plattan är stora. Cellulosamembranet klarar att hålla kvar vatten upp till 100 bar.

För att relatera portrycket till relativa fuktigheten används Kelvinekvationen, som ger ett samband mellan portryck, p_ℓ , mättnadsångtryck, p_s och relativ fuktighet, φ [6]:

$$p_\ell = p_s(T) + \frac{R \cdot T \cdot \rho_w}{M_w} \cdot \ln \varphi \quad (2.3)$$

Mättnadsångtrycket p_s är oftast försumbart, varför ekvation 1 kan skrivas som:

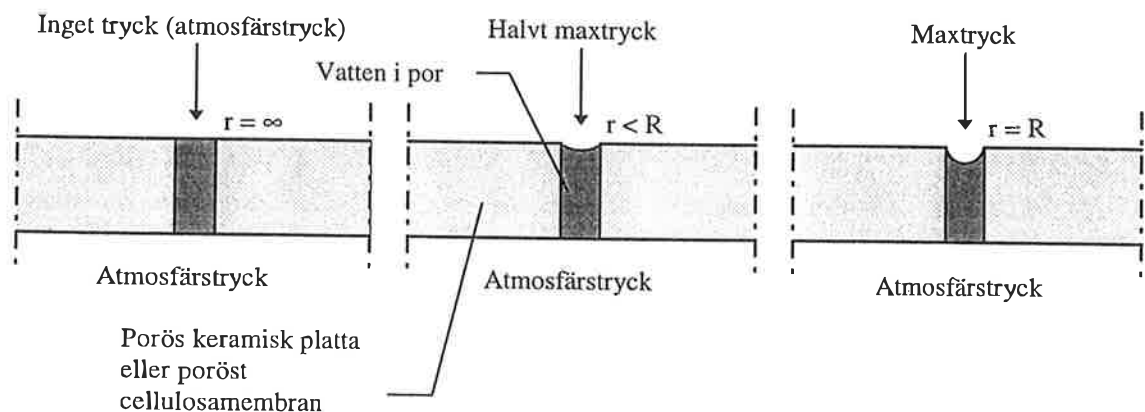
$$p_\ell = \frac{R \cdot T \cdot \rho_w}{M_w} \cdot \ln \varphi \quad (2.4)$$

R allmänna gaskonstanten, som är 8.314 J/(mol·K)

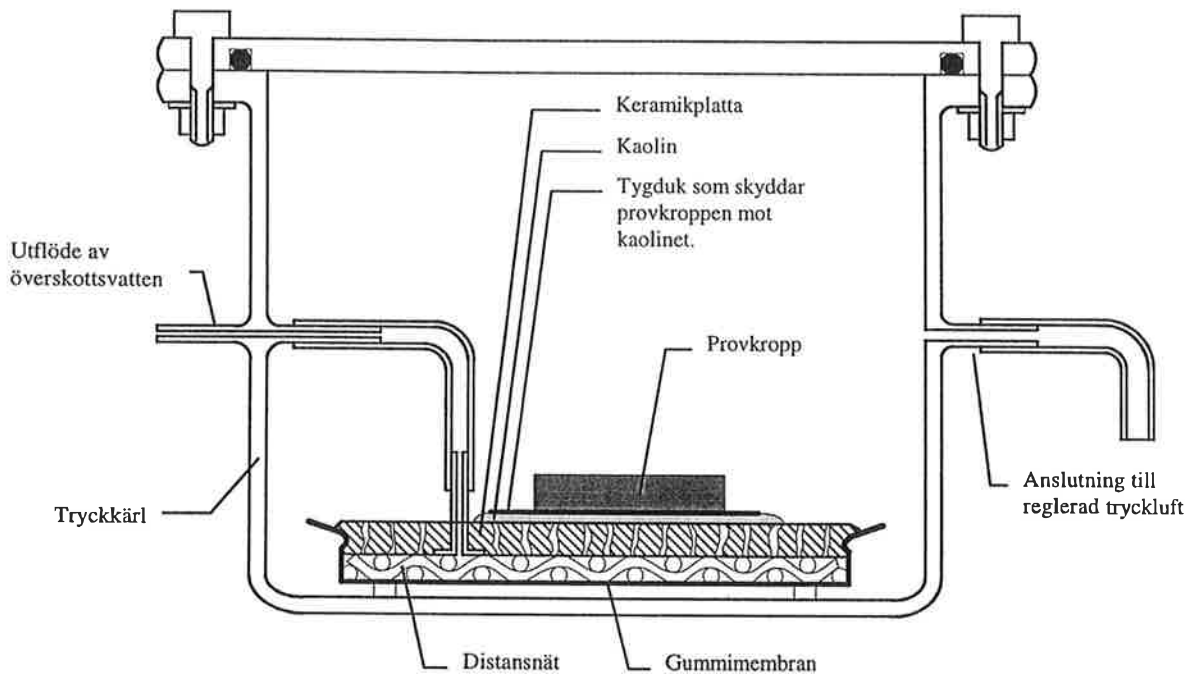
T absoluta temperaturen [K]

ρ_w vattnets densitet [kg/m³]

M_w vattnets molvikt, som är 0.018 kg/mol



Figur 2.1 Keramikplattans/cellulosamembranets funktion. Ett övertryck appliceras på plattan/membranets översida medan atmosfärstryck råder på undersidan. Överskrids det dimensionerade maximala trycket töms porsystemet och kortslutning uppkommer mellan över och undersida.



Figur 2.2 Skiss av en PPE. Överskottsvatten pressas ut från provkroppen via tygduk, kaolin och keramikplatta. Distansnätet förhindrar gummimembranet att täppa till keramikplattan då övertryck appliceras. På keramikplattans undersida (vid distansnätet) råder alltid atmosfärstryck. Övertrycket på plattans översida regleras av en högkvalitativ tryckregulator.

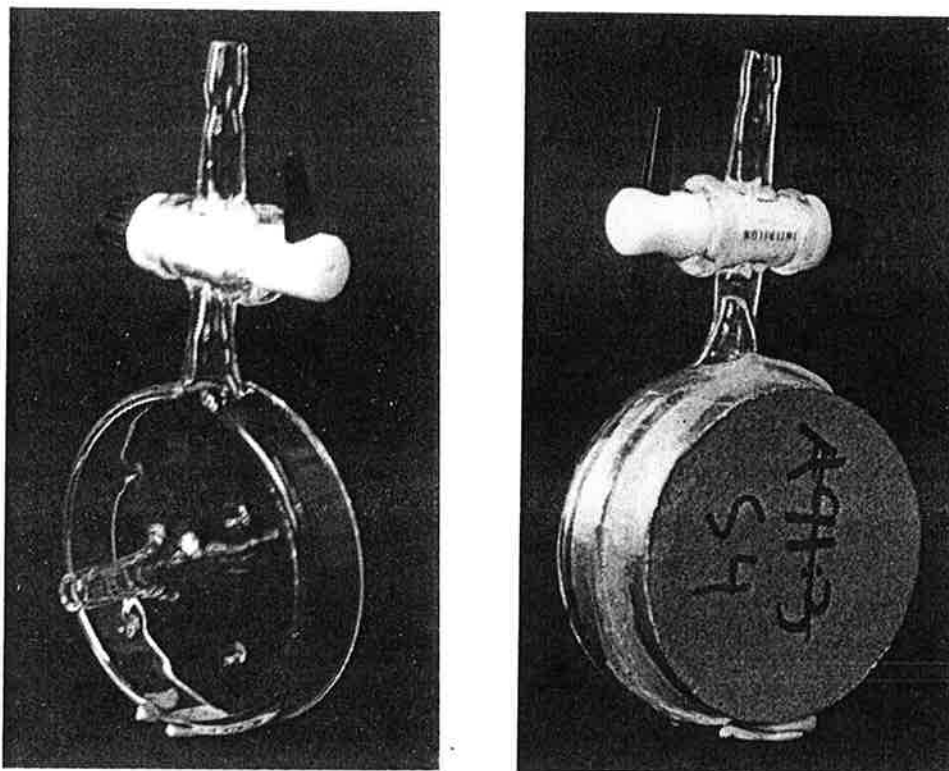
2.5 Kapillärsugning

För att förhindra avdunstning från provets sidor och för att uppnå ett endimensionellt flöde genom provkroppen förseglas provets sidor. För att finna en lämplig försegling har ett förförsök utförts på provkroppar förseglade med bivax, epoxi och en kraftig aluminiumtejp. Resultaten visade ingen skillnad mellan aluminiumtejp och bivax. Epoxin trängde dock in i stenen något. Eftersom aluminiumtejpen är enklast att applicera och även kan avlägsnas utan att skada provkroppen valdes den som försegling.

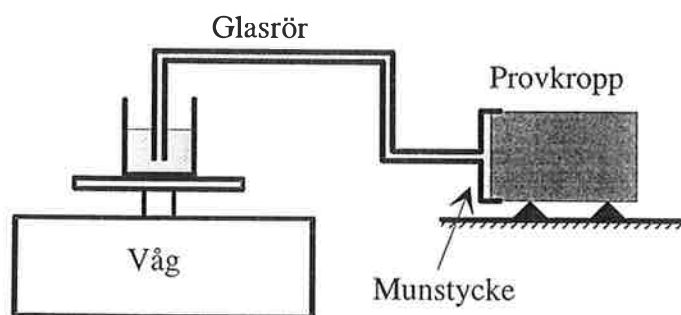
De provkroppar, som konditioneras i klimatlådor, förseglas och förses med ett munstycke efter konditioneringens slut. Munstycket monteras på provkroppen med hjälp av silikon, se Figur 2.3. För att konditioneringen skall störas så lite som möjligt sker monteringen av munstycket i klimatrums med RF och temperatur som liknar konditioneringsklimatet. Efter monteringen placeras proven åter i klimatlådorna för att silikontätningen skall härda. Kapillärsugningsförsöket genomförs dagen därpå. I det superhygroskopiska området konditioneras provkropparna med munstyckena monterade, varvid kapillärsugningen utförs direkt efter konditioneringens slut.

Provkroppen suger avjoniserat vatten från en skål via ett munstycke och ett rör av glas, se Figur 2.4. En våg mäter automatiskt vattenskålens viktminskning och sparar mätdata i en PC. Vägningen kan göras med intervall ner till ca 2 sekunder. Vågen och vattenskålen är placerad i en låda med ca 100% RF, för att på så sätt förhindra avdunstning från skålen. Sugprovet påbörjas genom att luft evakueras via ventilen på munstycket, varvid hela

sugytan väts. Munstycket och röret är konstruerade så att sugytan väts på några få sekunder. För att gravitationen inte skall påverka sugprovningen placeras provet så att det suger horisontellt.



Figur 2.3. Munstycke utan provkropp monterad (a) och munstycke med provkropp monterad (b). Provkroppen förseglas med aluminiumtejp och monteras till munstycket med silikon. Ventilen är till för att evakuera luft vid sugprovningens start.



Figur 2.4. Principskiss på försökupställningen.

2.6 Densitet och porositetsbestämning

För att kunna beräkna provkropparnas fukthalter efter konditionering måste deras densitet vara känd, se ekvation 2.2. Densiteten beräknas som kvoten mellan provens torra vikt och deras volym. Volymen bestäms genom att vakuummätta proven med vatten varefter de vägs i luft och vatten:

$$V = \frac{m_{air} - m_w}{\rho_w} \quad (2.5)$$

$$\rho = \frac{m_0}{V} \quad (2.6)$$

V	provets volym [m ³]
m_{air}	vakuummättade provets vikt i luft [kg]
ρ_w	vattnets densitet [kg/m ³]
ρ	provets densitet [kg/m ³]
m_w	vakuummättade provets vikt i vatten [kg]
m_0	materialets torra vikt [kg]

Vakuummättningen följer det schema som beskrivs i [7]:

1. Proven torkas vid 105°C och vägs, varefter de placeras i en exsickator där de utsätts för vakuum (resttryck på ~1-2 Torr) under 3 timmar.
2. Rumstempererat kranvatten släpps in i exsickatorn medan vakuumpumpning fortgår. Proven täcks av vatten inom loppet av en minut.
3. Den vattenfyllda exsickatorn utsätts för vakuumpumpning ytterligare 1 timme.
4. Atmosfärstryck släpps in i exsickatorn och proven lagras i vattnet fram till dess att volymen bestäms.

Från vägningen av de vattenmättade proven i luft och vatten erhålls även provens porositet, P och kompakt densitet, ρ_k :

$$P = \frac{m_{air} - m_0}{\rho_w \cdot V} \quad (2.7)$$

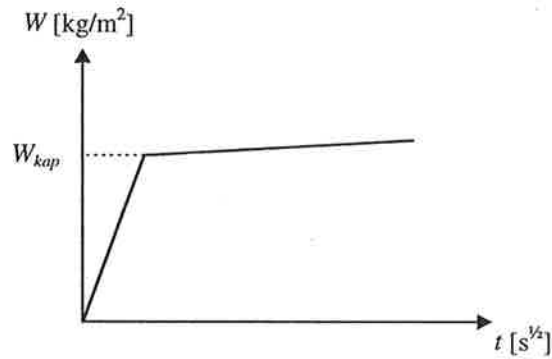
$$\rho_k = \frac{\rho}{1 - P} \quad (2.8)$$

Kapillärporositeten, P_{kap} samt kapillärmättnadsfukthalten, w_{kap} utvärderas från kapillärsugningsförsök. Sugförsöken utförs på provkroppar som torkat vid 105°C. Kapillärmättnadsfukthalten definieras här som fukthalten då kapillärsugningen upphör (knickpunkten uppnås) och kapillärporositeten som den då vattenfyllda porositeten, se Figur 2.5. Efter det att w_{kap} uppnåtts fortsätter fukthalten att öka p.g.a. att luften i de porer som inte var aktiva vid kapillärsugningen löser sig i vattnet. Detta förlopp är mycket långsamt.

$$w_{kap} = \frac{W_{kap}}{\ell} \quad (2.9)$$

$$P_{kap} = \frac{W_{kap}}{\rho_w \cdot \ell} \quad (2.10)$$

W_{kap} mängden absorberat vatten då knickpunkten uppnås [kg/m^2]
 ℓ provkroppens längd i sugriktningen [m]



Figur 2.5. Kapillärsugningsförsök för bestämning av kapillärmättnadsfukthalt och kapillärporositet. Då knickpunkten uppnås upphör kapillärsugningen. Fukthalten fortsätter att öka p.g.a. att luften i de porer som inte var aktiva vid kapillärsugningen löser sig i vattnet. Detta förlopp är mycket långsamt.

3 Resultat

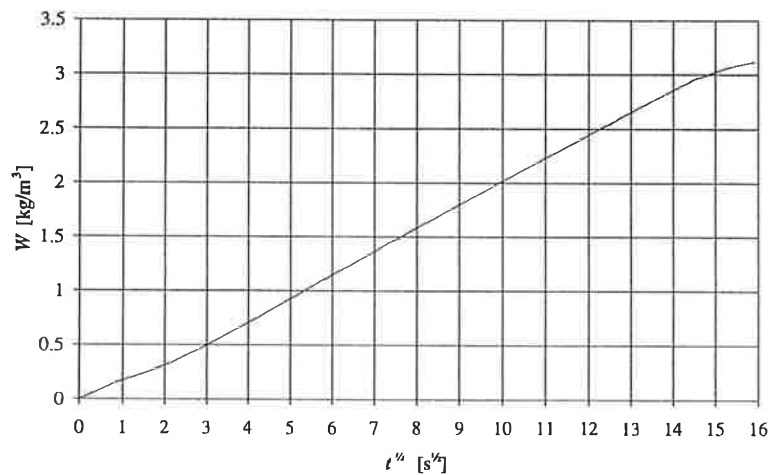
3.1 Sugprovning

Kapillaritetskoefficienten, A [$\text{kg}/(\text{m}^2 \text{s}^{1/2})$] definieras enligt följande,

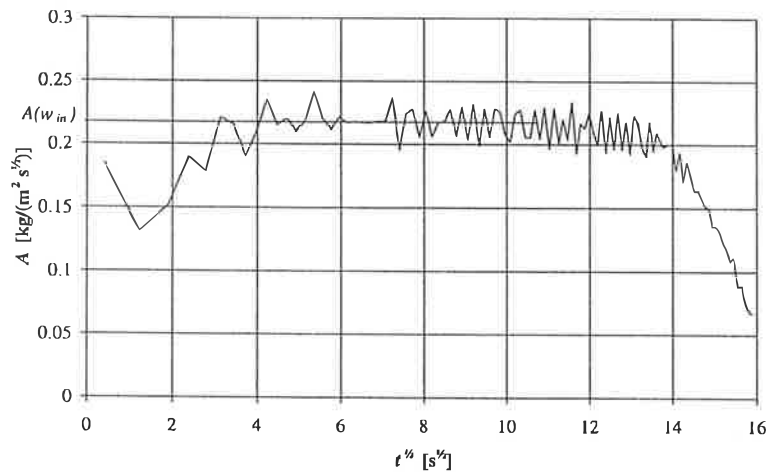
$$W = A \cdot \sqrt{t} \quad (3.1)$$

där $W(t)$ [kg/m^2] är mängden absorberat vatten.

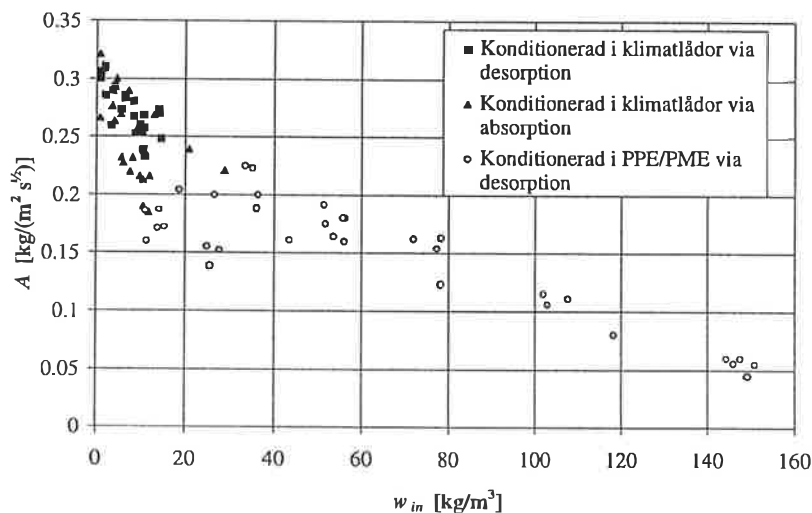
Kapillaritetskoefficienten mäts genom att låta ett förkonditionerat prov suga vatten och kontinuerligt mäta mängden absorberat vatten. Mätdata sparas automatiskt till en datafil. Från denna plottas mängden absorberat vatten som funktion av roten ur tiden, se Figur 3.1. Olinjariteten de första sekunderna beror troligen på att provets sugyta väts ojämnt. Den minskande lutningen vid slutet av kurvan beror på att fuktfronten når provets andra ända varvid provet når kapillärmättnad. Lutningen av den linjära delen mellan olinjariteten i början av kurvan och i slutet av kurvan ger kapillaritetskoefficienten. Plottas lutningen mellan de på varandra följande mätvärdena, dvs lutningen av grafen i Figur 3.1, mot roten ur tiden erhålls grafen i Figur 3.2. Från denna graf bestäms kapillaritetskoefficienten för aktuell förkonditionering, $A(w_{in})$, se Figur 3.2.



Figur 3.1. Mängden absorberat vatten per kvadratmeter exponerad yta, $W(t)$ som en funktion av roten ur tiden.



Figur 3.2. Lutningen av kurvan i Figur 3.1; kapillaritetskoefficienten, $A(w_{in})$ är här $\sim 0.22 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ s}^{1/2})$.



Figur 3.3. Kapillaritetskoefficienten plottad mot aktuell initial fukthalt. Varje punkt motsvarar ett sugprovsningsförsök. $w_{kap} = 159.4 \text{ kg}/\text{m}^3$, se kapitel 3.2.

Plottas samtliga sugprovsningsresultat mot aktuell förkonditionering, uttryckt genom den initiala fukthalten w_{in} , erhålls grafen i Figur 3.3. Varje punkt i grafen motsvarar ett försök.

Som framgår av Figur 3.3 ändras kapillaritetskoefficienten kraftigt i intervallet $0 \leq w_{in} \leq 20 \text{ kg}/\text{m}^3$ motsvarande det hygroskopiska området. Den variabla koefficienten i detta område skulle kunna förklaras med något mätfel. Detta är dock osannolikt då samma metod har använts för bestämning av kapillaritetskoefficienten i hela intervallet $0 \leq w_{in} \leq w_{kap}$. (w_{kap} definieras som vattenhalten då kapillärsugningen upphör. Efter det att w_{kap} uppnåtts fortsätter fukthalten att öka p.g.a. att luften i de porer som inte var aktiva vid kapillärsugningen löser sig i vattnet. Detta förlopp är mycket långsamt, se Figur 3.9). En annan förklaring kan vara att vatten blockerar kritiska passager i porsystemet då w_{in} uppnår $20 \text{ kg}/\text{m}^3$. Vattnet tvingas vid kapillärsugning till omvägar varvid kapillaritetskoefficienten och inflödet minskar.

Andra möjliga förklaringar till kapillaritetskoefficientens beroende av den initiala fukthalten kan fås genom en analys av mekanismerna bakom kapillärsugning och de storheter som styr kapillaritetskoefficienten i ett horisontellt sugande rör:

Enligt [8] beskrivs motståndstalet, m för ett horisontellt sugande rör av:

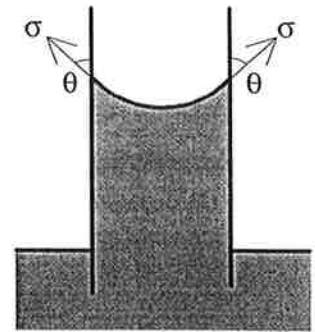
$$m = \frac{2 \cdot \eta}{r_0 \cdot \sigma \cdot \cos \theta} \quad [\text{s/m}^2] \quad (3.2)$$

η dynamisk viskositet [Ns/m^2]. För vatten är den dynamiska viskositeten 0.0018 Ns/m^2 vid 0°C och 0.0010 Ns/m^2 vid $+20^\circ\text{C}$.

r_0 rörets radie [m]

σ ytspänning [N/m] (se Figur 3.4)

θ randvinkel (se Figur 3.4).



Figur 3.4. Kapillärsugning i en cirkulär cylindrisk kapillär med ytspänningen σ och randvinkeln θ .

För porösa material är kapillärsystemet oregelbundet varvid flödesmotståndet blir större. Motståndstalet kan då inte skrivas som i ekvation 3.2. Ekvation 3.2 visar dock vilka storheter som styr motståndstalets storlek även i ett poröst material.

Kapillaritetskoefficienten kan för porösa material skrivas som [4]:

$$A = \frac{\rho_w \cdot P_k}{\sqrt{m}} \quad (3.3)$$

ρ_w vattens densitet [kg/m^3]

P_k porositet tillgänglig för kapillärsugning

Kombineras ekvation 3.2 med ekvation 3.3 erhålls ekvation 3.4. Ekvation 3.4 visar vilka storheter som styr kapillaritetskoefficienten hos ett poröst material. Den ger dock ingen information om kapillaritetskoefficientens storlek.

$$A \propto \rho_w \cdot P_k \sqrt{\frac{r_0 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{2 \cdot \eta}} \quad (3.4)$$

Kapillaritetskoefficienten ökar alltså med ökad tillgänglig porositet, porradie samt ytspänning medan en ökad randvinkel och viskositet minskar den. Att kapillaritetskoefficienten minskar med ökad initial fukthalt (se Figur 3.3) torde främst bero på att P_k minskar med ökad initial fukthalt:

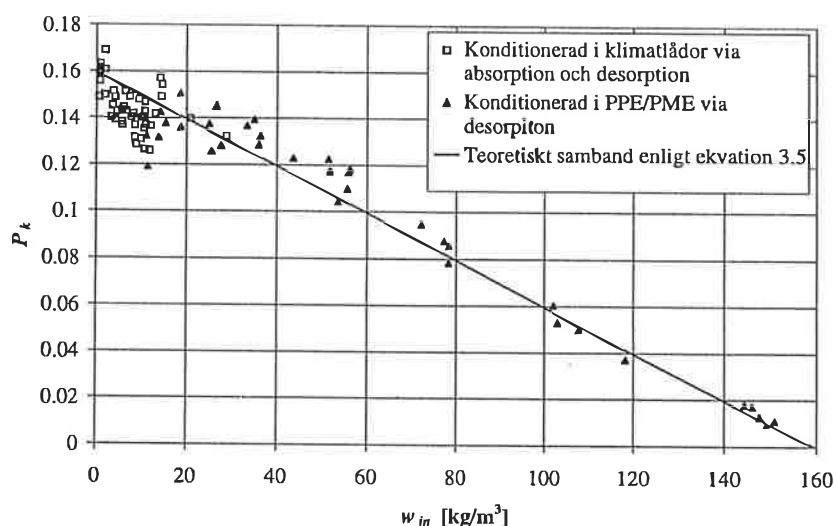
$$P_k = \frac{w_{kap} - w_{in}}{\rho_w} \quad (3.5)$$

Samtidigt minskar den aktiva porradien då ett allt större vattenskikt finns adsorberat på porväggarna. Den starkt variabla kapillaritetskoefficienten i intervallet $0 \leq w_{in} \leq 20 \text{ kg/m}^3$ kan dock inte förklaras på detta sätt.

Figur 3.5 visar uppmätt och med ekvation 3.5 beräknad aktiv porositet plottad mot initial fukthalt. Den uppmätta aktiva porositeten utvärderas ur kapillärsugningsförsöken med följande samband;

$$P_k = \frac{A \cdot \sqrt{t_k}}{\rho_w \cdot \ell} \quad (3.6)$$

där t_k [s] är den tid det tar för provet att uppnå kapillärmättnad och ℓ är provets längd i sugriktningen [m].

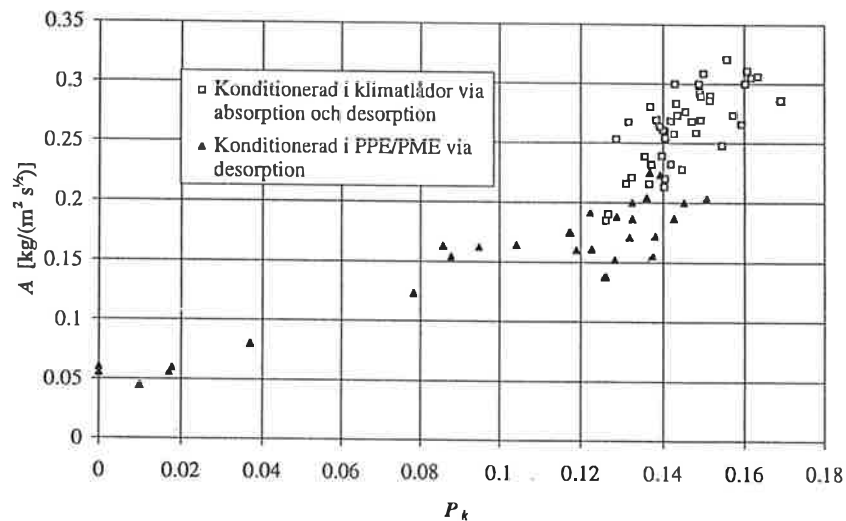


Figur 3.5. Aktiv porositet plottad mot initial fukthalt. Linjen visar teoretiskt samband enligt ekvation 3.5 med $w_{kap} = 159.4 \text{ kg/m}^3$.

En förklaring till den variabla kapillaritetskoefficienten i intervallet $0 \leq w_{in} \leq 20 \text{ kg/m}^3$ kan vara att ytspänningen ökar vid låg initial fukthalt. Enligt [9] medför en ökning av saltkoncentrationen i en lösning att ytspänningen ökar. Sandstenen är kalcitbunden vilket medför att en viss mängd kalcit finns löst i porvattnet. Konditioneringen i det hygrokopiska området sker i klimatlådor och är en långsam process (konditioneringen tar mer än tre månader). Under denna tid hinner troligen det adsorberade vattnet mättas med kalcit. Konditioneringen i det superhygrokopiska området tar ca. 1-2 veckor att utföra och porvattnet hinner troligen inte mättas med kalcit på denna korta tid. Vid låga initiala fukthalter blir alltså koncentrationen av kalcit högre än vid höga initiala fukthalter. När sugförsöket startar finns det en vattenfilm med hög kalcitkoncentration längs porväggen. Detta ökar ytspänningen och på så sätt även sugkraften mellan vägg och vatten.

En annan förklaring kan vara att randvinkeln påverkas av löst kalcit. Randvinkeln minskar eventuellt då kalcitkoncentrationen ökar. I [10] visas att randvinkeln varierar kraftigt mellan vatten och sand som förbehandlats med olika preparat medan randvinkeln mellan etanol och sand är konstant oavsett förbehandling av sanden.

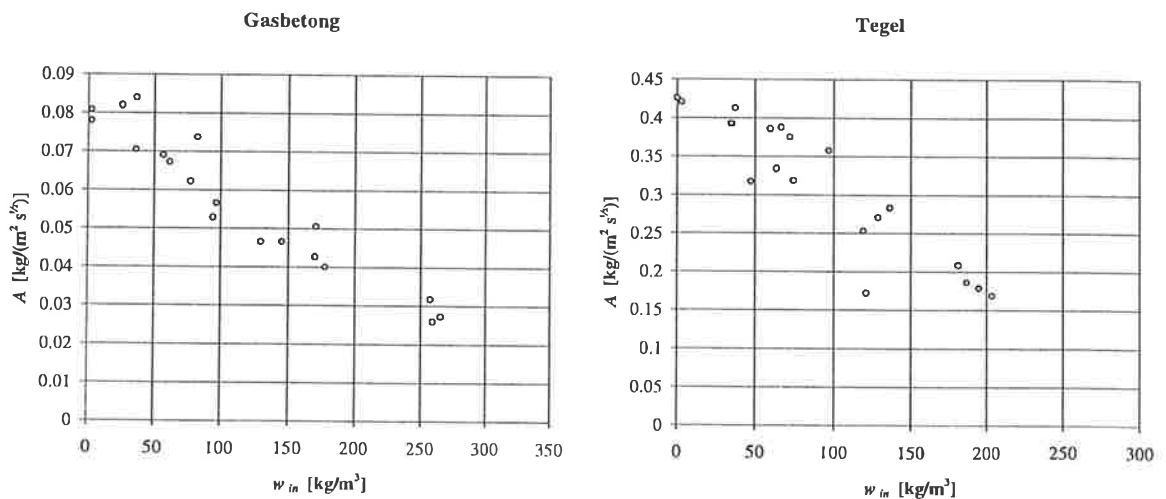
Figur 3.6 visar kapillaritetskoefficienten plottad mot aktiv porositet. Figuren visar tydligt att de provkroppar som konditionerats i klimatlådor har en högre kapillaritetskoefficient än de provkroppar som konditionerats med PPE/PME vid samma aktiva porositet.



Figur 3.6. Kapillaritetskoefficienten plottad mot aktiv porositet, P_k .

Kalcit är dock relativt svårslöslig. Kalcit som vid 25° C står i jämvikt med koldioxidfritt vatten innehåller 0.52 mg kalcit per 100 g vatten, medan det innehåller 38 mg kalcit per 100 g vatten om vattnet är koldioxidmättat [11]. Detta medför att mer kalcit löser sig om sandstenen exponeras för en sur miljö. Det vatten som stenarna exponeras för vid försöken och vid konditioneringen är i stort sätt koldioxidfritt.

I [12] rapporteras mätningar av kapillaritetskoefficienten som funktion av initial fukthalt utförda på tegel och gasbetong (se Figur 3.7). Exakt konditionerings och mätmetod är okänd. Av dessa mätningar framgår ingen markant påverkan på kapillaritetskoefficienten vid låga initiella fukthalter.

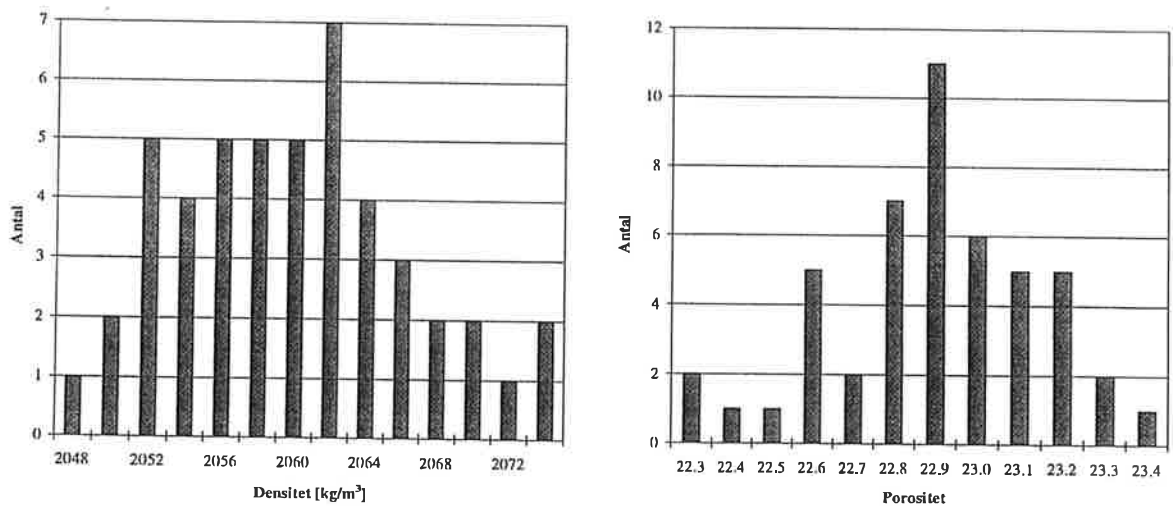


Figur 3.7. Kapillaritetskoefficienten, A , som funktion av initial fukthalt, w_{in} . För gasbetongen är $w_{kap} = 340 \text{ kg/m}^3$ och för teglet är $w_{kap} = 260 \text{ kg/m}^3$. [12].

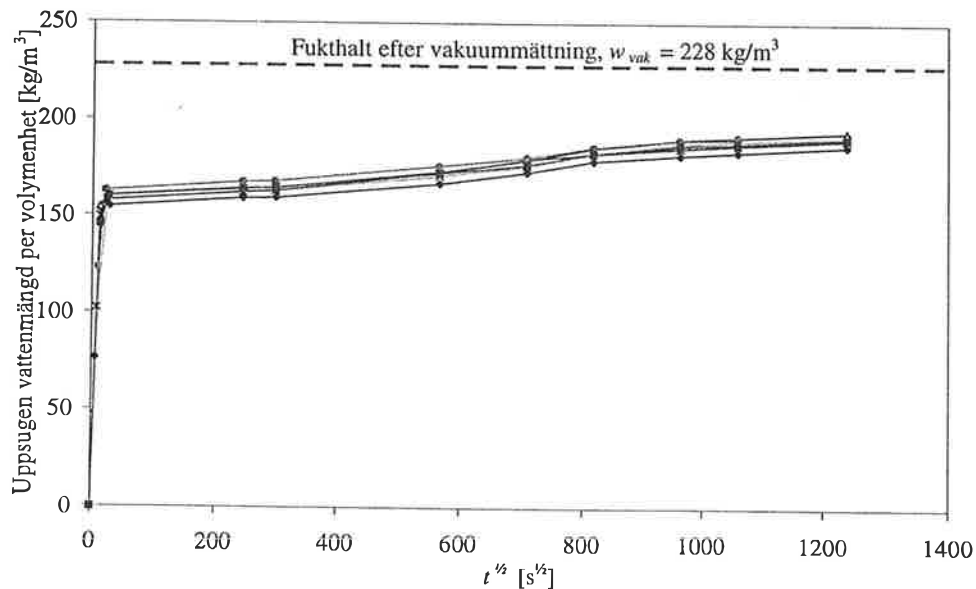
3.2 Jämviktsisoterm, densitet och porositet

Densiteten och porositeten mäts på samtliga provkroppar som sugprovas, det vill säga totalt 48 provkroppar. Medeldensiteten hos dessa provkroppar är 2059 kg/m^2 med en standardavvikelse av 6.5 kg/m^2 . Medelporositeten är 22.8% med en standardavvikelsen 0.25% . Fördelningen av densiteten och porositeten framgår av Figur 3.8.

Kapillärporositeten och kapillärmättnadsfukthalten mäts på 6 provkroppar. Resultatet från kapillärsugningen framgår av Figur 3.9. Kapillärporositeten bestäms från knickpunkten (se Figur 2.5) och är 15.9% . Kapillärmättnadsfukthalten är 159.4 kg/m^3 .



Figur 3.8. Histogram över uppmätt densitet och porositet. Medelvärdet av densiteten är 2059 kg/m^3 med standardavvikelsen 6.5 kg/m^3 . Medelvärdet av porositeten är 22.8% och dess standardavvikelse är 0.25% .



Figur 3.9. Bestämning av kapillärmättnadsfukthalten och kapillärporositeten från ett sugförsök med 6 olika provkroppar som torkats vid 105°C före sugförsökets start.

Jämviktsisotermen mäts i samband med konditioneringen av provkropparna som används till kapillärsugprovningen. I det hygroskopiska området används även speciella isotermprovkroppar för att bestämma jämviktsisotermen.

Fukthalten anges vanligen som en funktion av RF i det hygroskopiska området, se vänstra diagrammet i Figur 3.10. Ingen skillnad har uppmätts mellan absorption och desorption. I det superhygroskopiska området kan fukthalten anges som en funktion av flera olika storheter. Det mest naturliga är att använda portrycket då det är portrycket som ställs in vid mätningar med PPE och PME. RF och portrycket kan relateras till varandra via Kelvinekvationen (ekvation 2.3). Det högra diagrammet i Figur 3.10 visar en jämviktsisoterm för hela intervallet, det vill säga för både det hygroskopiska som superhygroskopiska området, med fukthalten ritad som en funktion av trycket.

Konditioneringen i PPE/PME startar med prov som sugit vatten kapillärt under 1 dygn. Fukthalten i provet är då ca 165 kg/m^3 , se Figur 3.9. Som framgår av högra diagrammet i Figur 3.10 överskreds detta värde för ett prov. Detta beror på att provkroppen fortsatte att absorbera vatten från plattan och kaolinet vid det aktuella trycket, dvs det pålagda trycket var lägre än jämviktstrycket vid kapillärmättnad. Sandstenen fortsätter att absorbera vatten under en mycket lång tid efter det att kapillärmättnad uppnås. Som framgår av Figur 3.9 är provens fukthalt efter 425 h ca 190 kg/m^3 och fukthalten tenderar till att fortsätta att öka.

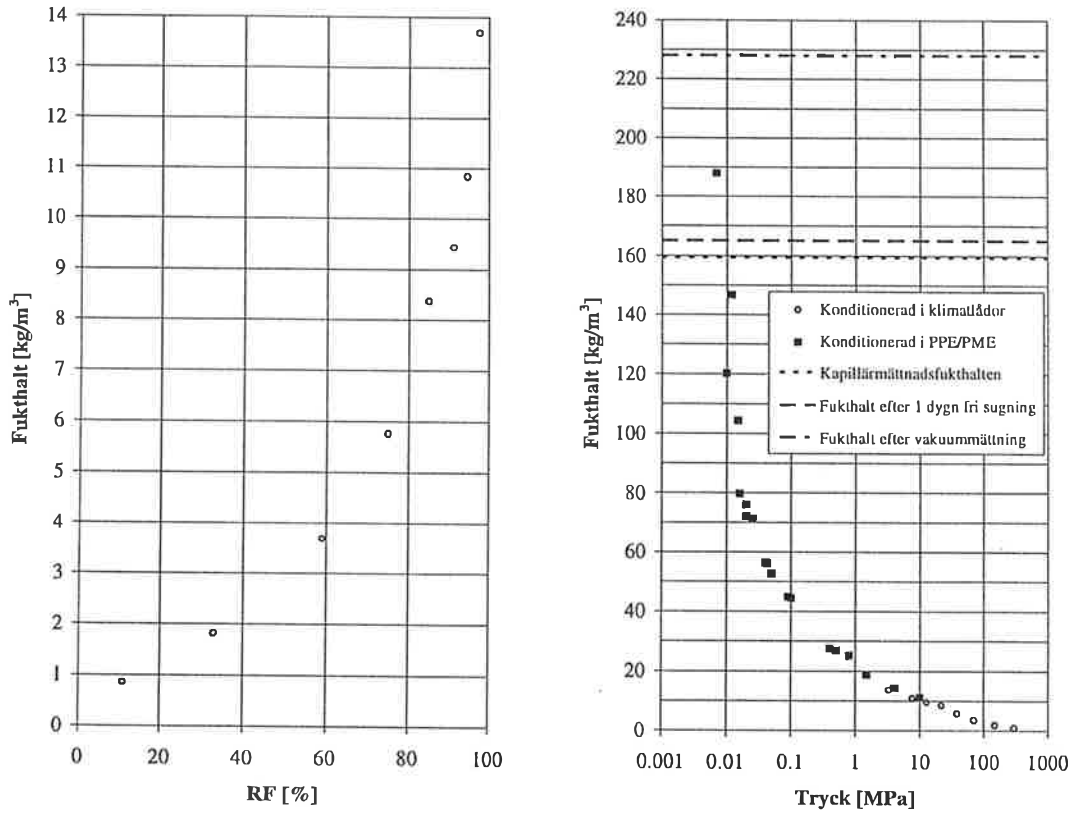
I vissa fall brukar porradien hos en tänkt cirkulär cylindrisk por användas istället för tryck eller RF. Portrycket i ett cirkulär cylindriskt rör kan skrivas som:

$$p_{\ell} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{r_0} \quad (4.4)$$

Vanligen brukar man sätta att $\cos \theta = 1$ vilket leder till följande uttryck:

$$p_{\ell} = \frac{2 \cdot \sigma}{r_0} \quad (4.5)$$

Kontaktvinkeln är troligen inte 0° . Så till exempel är den 50° mellan sand och vatten [10]. Man gör därför i detta fallet ett relativt stort fel då $\cos \theta$ approximeras till ett. Kontaktvinkeln mellan här använd sandsten och vatten är okänd.



Figur 3.10. Jämviktsisoterm för sandsten i det hygroskopiska området, $w(RF)$, samt jämviktsisoterm för sandsten i både det hygroskopiska som det superhygroskopiska området $w(p)$. Ingen hysteresis har uppmätts i det hygroskopiska området.

4 Referenser

- [1] Claesson, J., 'Bestämning av fukttransportkoefficienter vid höga fukthalter med hjälp av en svit kapillärsugningsförsök', Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, 1994.
- [2] Arfvidsson, J., Janz, M., 'Bestämning av fukttransportkoefficienter vid höga fukthalter med hjälp av en svit kapillärsugningsförsök', Kap. i 'Grundläggande byggnadsfysik - Nordisk doktorandkurs sommaren 1994, Redovisning av uppgifter', Rapport TVBH-7180, Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, 1994.
- [3] Janz, M., 'Test method for the moisture diffusivity at very high moisture levels', Proceedings of the International symposium on Moisture problems in building walls, Porto, 11-13 Sept., 1995.
- [4] Fagerlund, G., 'Fuktmekaniska egenskaper', Kap. i 'Betonghandbok Material', Svensk Byggtjänst, Stockholm, 1982.
- [5] Krus, M., Kießl, K., 'Vergleichende Untersuchungen zur Bestimmung der Porenradienverteilung von Natursandsteinen mittels Saugspannungsmessung und Quecksilber-Druckporosimetrie', Report FtB-11, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen, 1991.
- [6] Claesson, J., 'A few remarks on moisture flow potentials', Report TVBH-7163, Division of Building Physics, Lund University, 1993.
- [7] Fagerlund, G., 'The critical degree of saturation method of assessing the freeze/thaw resistance of concrete', Materials and Structures, Vol. 10, No. 58, 1977.
- [8] Sandin, K., 'Putsens inverkan på fasadens fuktbalans - Delrapport I-VIII', Rapport TVBM-1005, Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, 1980.
- [9] 'Handbook of Chemistry and Physics', 70TH edition, CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 1989.
- [10] Letey, J., Osborn, J., Pelishek, R. K., 'Measurement of liquid-solid contact angles in soil and sand', Soil Science, Vol. 93, No. 3, pp 149-153, 1962.
- [11] Hägg, G., 'Allmän och oorganisk kemi', Almqvist & Wiksell, Uppsala, 1984.
- [12] Gösele, K., Künzel, H., Schwarz, B., 'Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen', Az.: I6-800169-18, Institut für technische Physik, Stuttgart/Holzkirchen, 1971.