



# LUND UNIVERSITY

## Fuktegenskaper för byggnadsmaterial - en litteraturstudie

Åhs, Magnus

2012

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Åhs, M. (2012). *Fuktegenskaper för byggnadsmaterial - en litteraturstudie*. (Rapport TVBM; Vol. 3162). Byggnadsmaterial LTH, Lunds universitet.

*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



# Fuktegenskaper för byggnadsmaterial -en litteraturstudie

av  
Magnus Åhs





# Fuktegenskaper för byggnadsmaterial -en litteraturstudie

Magnus Åhs



LUND UNIVERSITY

Lunds Universitet  
Avd. Byggnadsmaterial  
Box 118  
221 00 Lund

Telefon:+46 46 222 74 15  
Telefax:+46 46 222 44 27  
[www.byggnadsmaterial.lth.se](http://www.byggnadsmaterial.lth.se)

---

## Förord

Litteraturstudien är utförd på avdelningen Byggnadsmaterial vid Lunds tekniska högskola. Arbetet har utförts inom projektet Webbaserade fuktegenskaper för material. Projektledare för den här litteraturstudien är Magnus Åhs, på avd Byggnadsmaterial.

Information och kunskap om fuktegenskaper för byggnadsmaterial har inhämtats från litteraturstudier på internet där bland annat Scopus och Web of knowledge har använts. Till detta har litteratur sökts på avdelning byggnadsmaterial och avdelning byggnadsfysik LTH. Litteratursökningen pågick under hösten 2011 fram till vintern 2012. Viss litteratur finns tillgänglig på internet och länkar till dessa finns infogade i dokumentet, de är märkta som röd text och fungerar bara i pdf-versionen av det här dokumentet.

Lars-Olof Nilsson, Avd Byggnadsmaterial, LTH, har förtjänstfullt delat med sig av litteratur om fuktegenskaper för olika byggnadsmaterial.

Dessutom har följande personer förtjänstfullt ingått i referensgruppen för den här litteraturstudien.

Lars-Olof Nilsson, Avd Byggnadsmaterial, LTH

Fredrik Gränne, NCC

Peter Brander, Skanska

Lars Östberg, PEAB

Lars Olsson, SP

Carl-Magnus Capener, SP

Olof Hägerstedt, Avd byggnadsfysik, LTH

Projektet har samordnats av Britt Borgström, FoU Syd och samfinansierats av Byggrådet och SBUF genom Lars Östberg, PEAB Sverige AB.

Lund, januari 2012

Magnus Åhs

---

## Nyckelord

Fuktegenskaper, byggnadsmaterial, fukttransportegenskaper, jämviktsfuktkurva, sorptionsisoterm, fukttransportkoefficienter

## Sökmotor och adress

Web of knowledge, <http://apps.webofknowledge.com/>

Scopus, <http://www.scopus.com/>

Google scholar, <http://scholar.google.se/>

Google, <http://www.google.com/>

## Sökord

|                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| wood                   | + “sorption isotherm” |
| mineral wool           | + moisture properties |
| glass wool             | + moisture properties |
| fibregement            | + moisture            |
|                        | + moisture property   |
| fiber cement           | + moisture            |
|                        | + moisture property   |
| fibregement            | + moisture            |
| fibregement board      | + moisture            |
| absorption fibregement | + moisture            |
| vapour barrier         | + moisture            |
|                        | + moisture property   |
| gypsum board           | + moisture property   |
| wood                   | + moisture property   |
| cellulose insulation   | + moisture properties |
| clay brick             | + moisture properties |
| transport coefficient  | + moisture            |
| building materials     | + sorption + moisture |
| byggnadsmaterial       | + fuktegenskaper      |
| material               | + fuktegenskaper      |
| fuktegenskaper         |                       |

---

# Innehåll

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduktion</b>                              | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Allmänt om fukt</b>                           | <b>3</b>  |
| 2.1      | Fukt i luft . . . . .                            | 3         |
| 2.2      | Fukt i material . . . . .                        | 6         |
| 2.3      | Sorptionsisotermer . . . . .                     | 6         |
| 2.4      | Fukttransportkoefficienter . . . . .             | 9         |
| 2.5      | Beräkningsexempel . . . . .                      | 13        |
| <b>3</b> | <b>Fuktegenskaper för olika byggnadsmaterial</b> | <b>15</b> |
| 3.1      | Trä . . . . .                                    | 15        |
|          | Massivt trä . . . . .                            | 15        |
|          | Plywood . . . . .                                | 16        |
|          | Träfiberskivor . . . . .                         | 17        |
|          | Trägolv . . . . .                                | 18        |
| 3.2      | Cementbaserade material . . . . .                | 18        |
|          | Betong . . . . .                                 | 18        |
|          | Lättbetong . . . . .                             | 19        |
|          | Cementbruk . . . . .                             | 19        |
|          | Avjämningsmassa . . . . .                        | 20        |
| 3.3      | Tegel . . . . .                                  | 20        |
| 3.4      | Mineralbaserade skivor . . . . .                 | 21        |
| 3.5      | Tätskikt, ångspärrar, ångbromsar . . . . .       | 22        |
| 3.6      | Mattor . . . . .                                 | 23        |

## INNEHÅLL

---

|          |                                   |           |
|----------|-----------------------------------|-----------|
| 3.7      | Ytbehandlingar . . . . .          | 23        |
| 3.8      | Värmeisolering . . . . .          | 24        |
|          | Cellplastisolering . . . . .      | 24        |
|          | Cellulosafiberisolering . . . . . | 25        |
|          | Mineralull . . . . .              | 25        |
| <b>4</b> | <b>Materialdata på internet</b>   | <b>27</b> |
|          | <b>Litteraturförteckning</b>      | <b>29</b> |

---

# Kapitel 1

## Introduktion

---

Det blir allt vanligare med fuktsäkerhetsprojektering på olika sätt. Boverkets nya Byggregler BBR ställer krav på att alla konstruktioner och byggnadsdelar skall fuktsäkerhetsprojekteras. Byggherrar kommer att begära att dennes konsulter och entreprenörer kan hjälpa till med detta. En Byggvägledning BVL har utarbetats för att ge hjälp om hur fuktsäkerhetsprojektering skall gå till mer konkret. BBR rekommenderar också användning av material med ”bestyrkta egenskaper”, dvs material vars egenskaper är kända vid leverans och inte behöver någon omständlig leveranskontroll.

Fuktsäkerhetsprojektering av byggnader och produktionen står dock och faller med tillgången på korrekta materialdata (fuktfixering, fukttransport och kritiska fuktnivåer). Sådana finns idag i gamla handböcker, spridd i en mängd litteratur, samlad i en skrift från FuktCentrum i serien Fuktsäkerhet i Byggnader från 1996, men det saknas till stor del för många material och materialkvaliteter, särskilt de som tillkommit de senaste tio åren. Vi använder alltmer material från internationella leverantörer som ofta har svårt att redovisa de materialegenskaper som fordras. Där materialleverantörerna inte kan ge besked om sina produkters egenskaper tvingas ibland varje entreprenör att låta genomföra egna mätningar. En öppen, gemensam hemsida för fuktegenskaper skulle eliminera sådana ”dubbelprovningar”.

Ett nytt beräkningsprogram, ”Wufi”, har börjat användas i liten skala i Sverige. Det har en mycket stor potential att bli ett verktyg för olika typer av fuktbedömningar, genom sin mångsidighet men samtidigt stora användarvänlighet. Programmet har en materialdatabas, men den är relativt ”tunn” och innehåller mest material på den tyska och norska marknaden. Många material som är stora i Sverige saknas det upp-

gifter om. Vissa materialegenskaper är uppenbarligen vilseledande. FuktCentrum har fått tillgång till licenser för sina forskningsprojekt mot att vi hjälper till att komplettera materialdatabasen. Därigenom kan svenska användare få ett användbart verktyg. Samma materialdata kan samtidigt göras tillgängliga för andra beräkningsverktyg.

Syftet med projektet är att redovisa källor till fuktegenskaper för byggnadsmaterial och på så sätt göra dessa tillgängliga för en större publik. Det finns inte några data publicerade i den här rapporten av flera anledningar, dels ligger det stora arbetet i att verkligen hitta data, dels är det inte tillåtet att kopiera ur vetenskapliga publikationer, dels saknas det resurser för detta i det här projektet. Därför har fokus varit att hitta källor till data och inte att kopiera data därifrån. Källorna till dessa data går att hitta i litteraturförteckningen längst bak i rapporten.

Ett annat syfte har varit att beskriva materialsammansättningen så långt det är möjligt istället för att ge produktnamn på materialen. Detta underlättar när fuktegenskaperna för ett material med ett annat produktnamn söks.

En del rapporter och publikationer går att ladda ner från internet, det finns länkar till dessa som är markerade i röd teckenfärg. Eftersom länkar till internet sällan är permanenta så går det inte att garantera att dessa finns tillgängliga i en evig framtid.

De vanligaste byggnadsmaterialen är med i rapporten men långt ifrån alla. Vissa rapporter som har refererats till i den här litteraturstudien är sammanställningar av fuktegenskaper för många olika material. [1] innehåller en mängd fuktegenskaper, sorptionsisotermer och fukttransportegenskaper, som ännu inte katalogiserats i den här rapporten. En del av innehållet i [1] finns dock med i [2–4]. Bristande resurser gjorde att vi inte kunde nå längre än så här.

Sammanställningar i tabell- och diagramform och utveckling av modeller för materialegenskaper skulle göra det möjligt att interpolera och extrapolera till andra materialkvaliteter än de som finns i litteraturen. Men det finns inte utrymme till att utföra även detta i det här projektet.

---

## Kapitel 2

### Allmänt om fukt

---

Följande avsnitt ger en allmän beskrivning på hur fukt från luften i omgivningen tas upp i material och fukttransportprocessen i byggnadsmaterial. Det inledande avsnittet, [2.1 Fukt i luft](#), ger en kort beskrivning av hur mycket fukt som luften kan innehålla vid en given temperatur och begreppet relativ fuktighet. Nästa avsnitt, [2.2 Fukt i material](#), ger en beskrivning av olika sätt att ange fukttinnehållet i material. Det tredje avsnittet, [2.3 Sorptionsisotermer](#), beskriver olika sätt att ange mängden fukt i förhållande till rådande fuktighet i luft. Det sista avsnittet, [2.4 Fukttransportkoefficienter](#), presenterar materialegenskapen fukttransportkoefficient och ekvationer för att omvandla den till olika transportpotential.

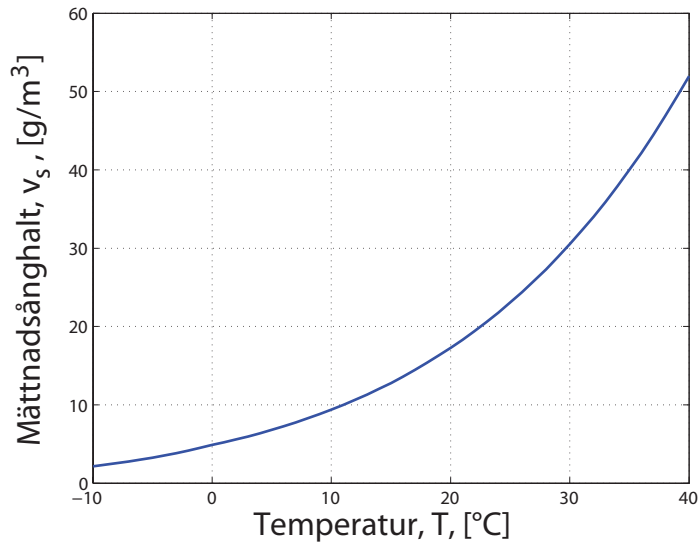
#### 2.1 Fukt i luft

Luften som omger oss innehåller normalt fukt i form av ånga. Mängden ånga anges vanligtvis i vikt per kubikmeter [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] men kan också anges som vattenångans partialtryck [Pa] av det totala lufttrycket.

Luftens maximala kapacitet att innehålla fukt vid en viss temperatur kallas för luftens mätnadsånghalt/mätnadsångtryck, och betecknas vanligtvis  $v_s$  respektive  $p_s$ , index s kommer från engelskans saturation. Det finns många ekvationer för att beräkna mätnadsånghalten vid olika temperaturer, och en [5] som ger en bra approximation i intervallet från  $-20$  till  $30$  °C är ekvation (2.1) ,

$$v_s = e^{(a - \frac{b}{T})} \quad (2.1)$$

där  $a$  och  $b$  är konstanter, och  $T$  är temperaturen [K]. När temperaturen är över  $0^\circ\text{C}$  är  $a=20.111$  och  $b=5060.73$  och när den är under  $0^\circ\text{C}$  är  $a=23.077$  och  $b=5871.99$ . Luftens kapacitet att innehålla vattenånga är starkt beroende av temperaturen, ju högre temperatur desto större kapacitet att innehålla vatten, se figur 2.1.



Figur 2.1 Luftens kapacitet att innehålla vattenånga, mättnadsånghalten som funktion av temperaturen, i intervallet  $-10^\circ\text{C}$  till  $40^\circ\text{C}$ .

Mättnadsångtrycket  $p_s$  kan beräknas genom att använda ekvation(2.2),

$$p_s = v_s \cdot \frac{M_w}{RT} \quad (2.2)$$

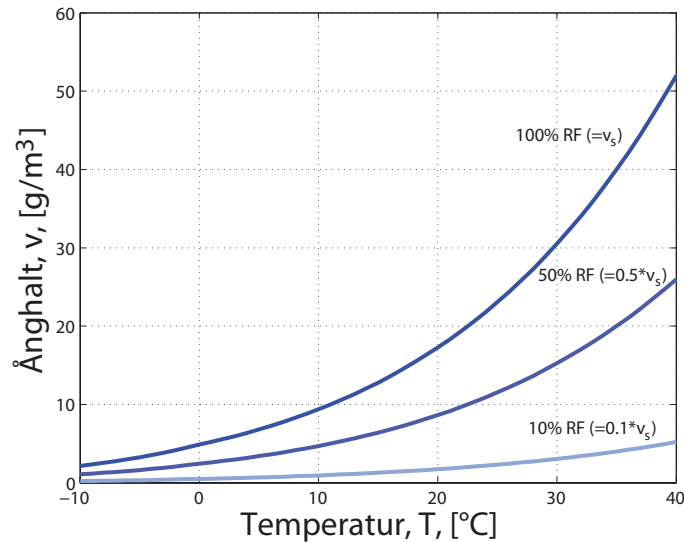
där  $M_w$  är molvikten för vatten  $0.01801528$  [kg/mol],  $R$  är gaskonstanten  $8.3145$  [J/mol·K] och  $T$  är temperaturen [K].

Den aktuella ånghalten,  $v$ , respektive partiella ångtrycket,  $p$ , i förhållande till mättnadsånghalten,  $v_s$ , respektive mättnadsångtrycket,  $p_s$ , benämns med begreppet relativ fuktighet, RF, och betecknas med  $\varphi$  eller  $\phi$ , se ekvation (2.3).

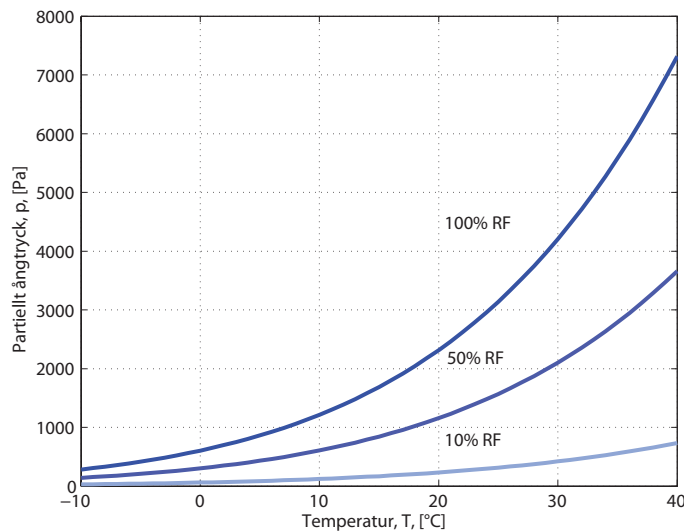
$$\varphi = \phi = \frac{v}{v_s} = \frac{p}{p_s} \quad (2.3)$$

Den relativa fuktigheten är således densamma oavsett om ånghalt eller ångtryck används som mått för fukttinnehållet i luft. Figur 2.2 visar ånghalten vid 10, 50 och

100% RF mellan  $-10^{\circ}\text{C}$  och  $40^{\circ}\text{C}$  och Figur 2.3 visar partialångtrycket av vattenånga i luft vid 10, 50 och 100% RF i samma temperaturintervall.



Figur 2.2 Luftens innehåll av vattenånga vid 100%, 50% och 10% relativ fuktighet som funktion av temperaturen, i intervallet  $-10^{\circ}\text{C}$  till  $40^{\circ}\text{C}$ .



Figur 2.3 Partialtryck av vattenånga vid 100%, 50% och 10% relativ fuktighet som funktion av temperaturen, i intervallet  $-10^{\circ}\text{C}$  till  $40^{\circ}\text{C}$ .

## 2.2 Fukt i material

Fukttinnehållet i material anges vanligtvis som en kvot mellan vikten av det förångningsbara vattnet och det torra materialets vikt, fuktkvoten,  $u$  [kg/kg]. I beräkningar används ibland också att fukttinnehållet anges som fukthalt,  $W_e$ , det förångningsbara vattnets vikt per volym av det torra materialet, [kg/m<sup>3</sup>]. Genom att utnyttja densiteten,  $\rho$ , för det torra materialet är det möjligt att omvandla fuktkvoten till en fukthalt och vice versa, se ekvation (2.4).

$$W_e = \rho \cdot u \quad (2.4)$$

I vissa sammanhang passar det bättre att uttrycka fukttinnehållet på andra sätt. I betong är det i princip enbart det reagerade cementet som innehåller porer vilka i sin tur innehåller fukt. Stenen i betong är i regel porfri vilket innebär att stenen inte drar åt sig fukt. Därför är det lämpligare att ange sorptionsisotermer för cementbaserade material som vikten av det vatten som avgår vid 0 % RF i förhållande till cementvikten, ( $W_e/C$ ). Dessa sorptionsisotermer kan sedan användas och räknas om till fukthalt (kg fukt/m<sup>3</sup> betong) genom att multiplicera med cementvikten per m<sup>3</sup>.

Torrdensiteten går också att mäta upp eller uppskatta/beräkna om information om det saknas. Torrdensiteten för betong ändras med tiden eftersom mer fukt binds in i strukturen, ju äldre betong desto högre densitet. I Betonghandboken finns en beskrivning av hur densiteten för betong beräknas i kapitel 10.2:4, [6].

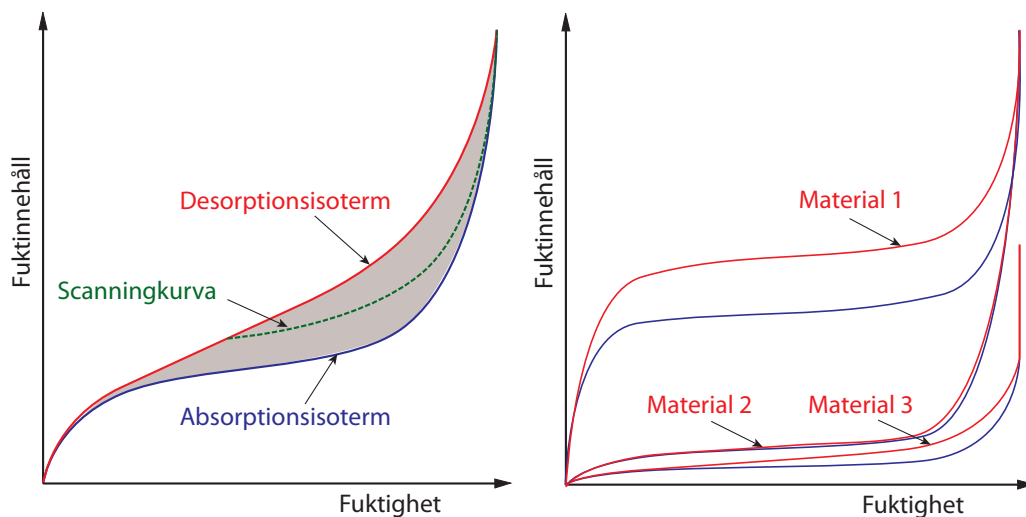
## 2.3 Sorptionsisotermer

Många byggnadsmaterial är hygroskopiska och det betyder att de kan avge och ta upp fukt från luften i omgivningen. Fukten binds på olika sätt beroende på materialets sammansättning och inre struktur. Det binds dels genom ren adsorption till inre porväggar, dels kapillärt i mer eller mindre vattenfyllda porer och dels på speciella adsorptionsplatser. Sorptionsisotermen eller jämviktsfuktkurvan visar fukttinnehållet (det förångningsbara vattnet) vid jämvikt med omgivande klimat som en funktion av fuktigheten i luften vid en viss temperatur.

Både fuktigheten och fukttinnehållet kan redovisas med olika enhet och därför kan utseendet på sorptionsisotermer variera lite, speciellt i det höga fuktområdet över 98% RF. I det området anges fuktigheten ofta som det kapillära undertrycket, med en så kallad suctionkurva.

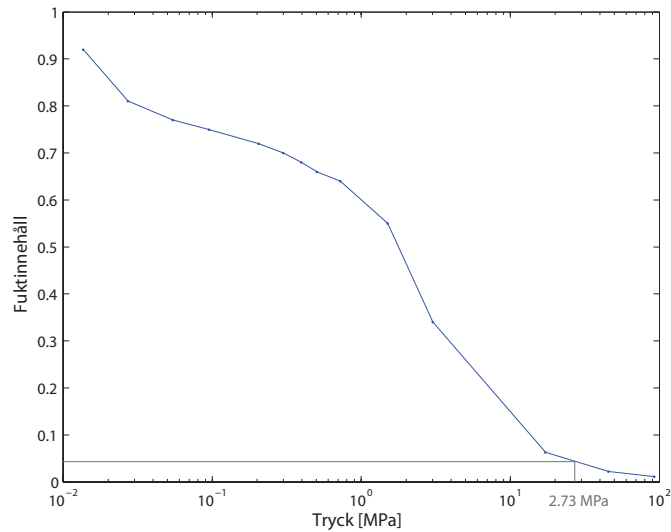
Det är vanligt att visa fuktinnehållet i fukthalt [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] eller fuktkvot [ $\text{kg}/\text{kg}$ ], där fuktkvot ofta används för trä. Fukttigheten anges som regel i relativ fuktighet [%]. Några av de vanligaste visas i Figur 2.4.

I Sverige bestäms sorptionsisotermer vanligen vid  $20^\circ\text{C}$ , medan det i internationella publikationer är vanligt att bestämma den vid  $23^\circ\text{C}$ . Skillnaden i temperatur har en ringa påverka på sorptionsisotermer vilket innebär att de i princip utbytbara mot varandra. Temperaturberoendet är relativt svagt men för att uppnå en hög precision vid beräkningar bör speciell hänsyn tas till detta. Om beräkningssituationen är sådan att materialet regelbundet utsätts för temperaturer som avviker mycket från  $20^\circ\text{C}$  och det är viktigt med en hög noggrannhet bör hänsyn tas till sorptionsisotermerens temperaturberoende.



Figur 2.4 Till vänster visas sorptionsisotermer för ett byggnadsmaterial som uppvisar en tydlig hysteres, fuktinnehållet vid uttorkning (desorptionsisotermer) är markant högre än vid uppfuktning (absorptionsisotermer). Till höger visas sorptionsisotermer för tre olika material med olika fuktinnehåll och hysteres.

Sorptionsisotermer kan också visas genom en så kallad suction kurva, där fuktinnehållet visas som en funktion av porvattenundertrycket, se Figur 2.5. Den typen av diagram används ofta för att visa fuktinnehållet vid låga kapillära undertryck det vill säga hög relativ fuktighet. Det omvända utseendet beror på att porvattenundertrycket är som lägst när relativa fuktigheten är som högst, e.g.  $\Delta P = 0$  när  $\phi = 1$  (100%). Det innebär att ett lågt porvattenundertryck motsvaras av ett högt vatteninnehåll och redovisas till vänster i diagrammet. Porvattenundertrycket korresponderar mot en viss relativ fuktighet enligt ekvation (2.5),



Figur 2.5 En kvalitativ illustration av fuktheten som funktion av porvattenundertrycket.

$$\ln \phi = -\frac{M_w \cdot \Delta P}{R \cdot T \cdot \rho_w} \quad (2.5)$$

där  $\phi$ , är relativ fuktighet uttryckt som ett decimaltal (t.ex. 98% RF skrivs som 0.98),  $M_w$  är molvikten för vatten 0.01801528 [kg/mol],  $\Delta P$  är det kapillära undertrycket [Pa],  $R$  är gaskonstanten 8.3145 [J/mol·K],  $T$  är temperaturen [K] och slutligen  $\rho_w$  är densiteten för vatten 1000 [kg/m<sup>3</sup>].

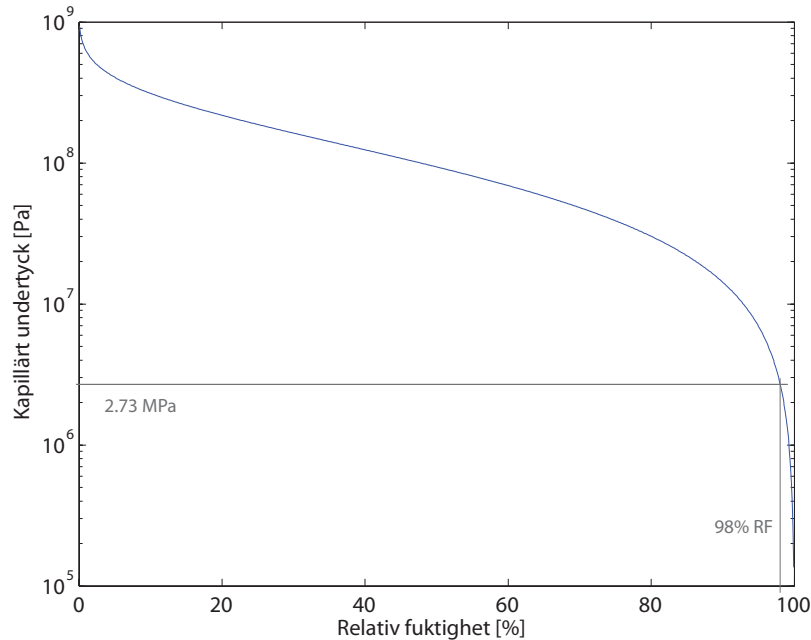
Eftersom tre av parametrarna i ekvation (2.5),  $M_w$ ,  $R$  och  $\rho_w$  kan betraktas som konstanta i dessa sammanhang, kan uttrycket skrivas om till ekvation (2.6).

$$\ln \phi = -2.16673 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\Delta P}{T} \quad (2.6)$$

Detta innebär att sambandet mellan relativ fuktighet och porvattenundertryck vid 20°C ges av ekvation (2.7).

$$\ln \phi = -7.395 \cdot 10^{-9} \cdot \Delta P \quad (2.7)$$

Relationen mellan relativ fuktighet och porvattenundertryck vid 20°C visas i Figur 2.6.



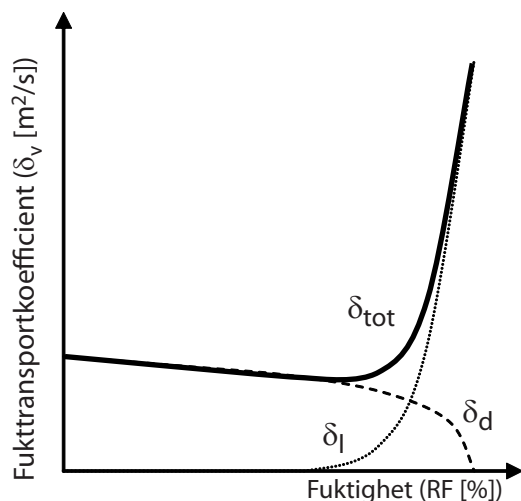
Figur 2.6 Kapillärt undertryck som funktion av relativ fuktighet vid 20°C.

Området över 98 % RF och därmed också under det kapillära undertrycket 2.73 MPa brukar definieras som det överhygroskopiska området.

## 2.4 Fukttransportkoefficienter

Fukttransportkoefficienten är en materialegenskap som är fuktberoende. Egenskapen beskriver hur fuktflödet genom ett material påverkas av fuktinnehållet vid en given konstant gradient. Anledningen till att fukttransportkoefficienten är fuktberoende är att fukten som binds in i materialet påverkar transporten på olika sätt vid olika fuktnivå. Fukttransportkoefficienten kan beskrivas med olika transportpotential av vilka många har sina begränsningar. Dels kan den beskrivas med ånghalt, ångtryck och RF som potential, fukttransportkoefficient, och dels som fuktkvot eller fukthalt som potential, diffusivitet.

En illustration av fuktberoendet hos fukttransportkoefficienten,  $\delta_{tot}$ , som har ånghalt, ångtryck och RF som transportpotential, finns i Figur 2.7. I det låga fuktområdet, under c:a 80% RF, kan fukttransportkoefficienten till och med minska något med en ökande fuktighet. Detta kan förklaras genom att vattenmolekyler som binds



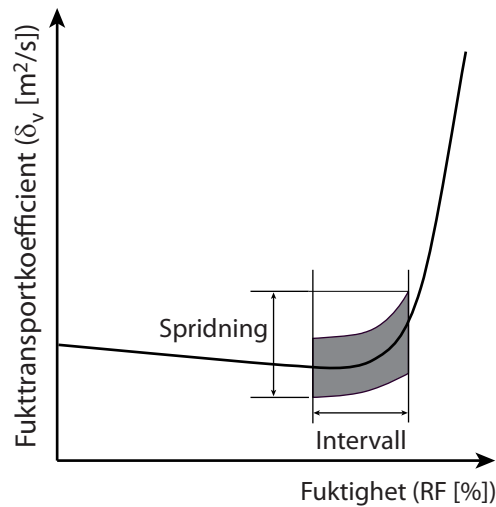
Figur 2.7 En kvalitativ illustration av fukttransportkoefficienten,  $\delta$ , som funktion av fuktigheten.

till porytor inne i materialet begränsar arean på transportvägen och om huvuddelen av fukttransporten sker genom diffusion, betecknat med  $\delta_d$  i Figur 2.7, minskar den då RF ökar.

I det högre fuktområdet ökar fukttransporten med en ökande fuktighet. Det kan förklaras av att fukttransporten övergår från diffusion till transport via kapillärt undertryck, betecknat med  $\delta_l$  i Figur 2.7, när det bildas sammanhängande vätskefyllda transportvägar i materialet. I och med att transporten via kapillärt undertryck är flera storleksordningar större än via diffusion ökar den totala fukttransporten mer än vad diffusionen minskar i det höga fuktområdet.

Sammantaget innebär detta att fukttransportkoefficienten ökar med en ökande fuktighet.

I mycket litteratur anges fukttransportkoefficienten som ett enstaka värde. Det värdet kan tolkas så som att transportkoefficienten är konstant i hela fuktområdet. I realiteten gäller värdet för ett visst fuktintervall, se Figur 2.8, vilket sällan anges. Provningsmetoden som sådan är också sällan angiven och det begränsar möjligheten att värdera resultatet. Det är också ovanligt att ange spridningen, se Figur 2.8, för den redovisade fukttransportkoefficienten vid ett visst fuktintervall, det vore önskvärt för att kunna utföra en känslighetsanalys i fuktberäkningar. Det finns en rapport tillgänglig på internet där olika laboratorier i Europa har mätt fukttransportkoefficienter på olika täta byggnadsmaterial med varierande resultat, se rapport [Intercomparison on measurement of water vapour permeance](#) från Sintef [7]. Till detta kan läggas tre ut-



Figur 2.8 En illustration av spridningen av fukttransportkoefficienten för ett visst fuktintervall.

redningar som också har undersökt resultatet för fuktegenskaper på liknande sätt, där olika laboratorier undersökt några material med samma metod och kommit fram till olika svar [8–10].

Eftersom fukttinnehållet påverkas av tidigare fuktförhållanden, se avsnitt 2.3 [Sorptionisotermer](#), påverkas också transportkoefficienten av om materialet har torkat ut eller fuktats upp till undersökt fuktintervall. Information om transportkoefficienten är framtagen under uttorkning eller uppfuktning är med få undantag inte tillgänglig, inte ens i vetenskapliga publikationer.

Fukttransportkoefficienter presenteras på olika sätt och med olika drivande potential både i Sverige och internationellt. Därför är det viktigt att kunna omvandla en transportkoefficient så att den kan användas för din egen fukttransportberäkning, med din drivande potential. Genom att sätta fuktflödet lika är det möjligt att omvandla transportkoefficienten till den önskade beroende på vilken drivande potential som är angiven.

$$\begin{aligned}
 g_v &= -\delta_v \frac{\partial v}{\partial x} = -\delta_p \frac{\partial p}{\partial x} = -\delta_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\Delta v}{Z} = \dots \\
 \dots D_v \frac{\Delta v}{S_D} &= \frac{D_v \Delta v}{\mu \Delta x} = -D_w \frac{\partial w}{\partial x} = -D_w \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial x}
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

I ekvation (2.8) är  $g_v$ , fuktflödet [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ],  $\delta_v$ ,  $\delta_p$  och  $\delta_\phi$ , fukttransportkoefficienter med ånghalt, ångtryck respektive relativ fuktighet som drivande potential,  $v$ , ånghalten [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $p$ , ångtrycket [Pa] och  $\phi$ , relativa fuktigheten [-].  $Z$  är ett fuktmotstånd

[s/m],  $D_v$ , är diffusionskoefficienten för vattenånga i stillastående luft ( $\sim 25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ).  $S_D$  [m] är ett mått på tjockleken hos ett lager stillastående luft som har samma fuktmotstånd som materialskiktet.  $\mu$  [-] anger förhållandet mellan  $D_v$  för luft och fukttransportkoefficienten för materialet.  $\Delta v$  står för skillnad i ånghalt och  $\Delta x$  tjocklek av materialskikt.  $D_w$  står för diffusiviteten med fukthalt,  $w$ , [kg/(m<sup>3</sup>)], som drivande potential.  $\rho$  är densiteten hos materialet och  $D_w$  står för diffusiviteten med fuktkvoten,  $u$  [kg/kg], som drivande potential.

I Sverige är det vanligt att uttrycka fukttransportkoefficienten  $\delta$ , med olika index, där index anger vilken drivande potential som har använts vid uträkningen av koefficienten. Om ånghalten är den drivande potentialen burkar  $v$  anges som index, till exempel  $\delta_v$ . Utanför Sverige är det vanligare med ångtryck som drivande potential,  $\delta_p$ . Det är mycket viktigt att hålla reda på vilken som är den drivande potentialen eftersom de olika transportkoefficienterna skiljer mycket i storleksordning.

Det finns ett samband mellan koefficienterna  $\delta_v$ ,  $\delta_p$  och  $\delta_\phi$  vilket går att visa genom att utnyttja allmänna gaslagen:

$$pV = nRT \quad (2.9)$$

där  $p$  är partialtrycket [Pa],  $V$  är volymen [m<sup>3</sup>],  $n$  är mängden gas [mol],  $R$  är gaskonstanten 8.3145 [J/mol·K] och  $T$  är temperaturen [K]. Molvolymen  $V_m$  [m<sup>3</sup>/mol] är,

$$V_m = \frac{V}{n} \quad (2.10)$$

Genom att utnyttja ovanstående samband, (2.8), (2.9) och (2.10) blir sambandet mellan transportkoefficienterna,

$$\delta_v = \frac{\delta_\phi}{v_s} = \delta_p \frac{\partial p}{\partial v} = \delta_p \frac{RT}{V_m} \approx \delta_p \frac{8.3145 \cdot T}{0.01801528} \approx \delta_p \cdot 461.523 \cdot T \quad (2.11)$$

Genom att studera enheten som transportkoefficienten är uttryckt i ges en ledtråd till vilken potential som är drivande. Om fukttransportkoefficienten till exempel är uttryckt i enheten, kg/(m·s·Pa), är den drivande potentialen ångtryck  $p$  (Pa). För att omvandla en fukttransportkoefficient med ångtryck som drivande potential till ånghalt multipliceras värdet med 461.523 samt temperaturen (uttryckt i Kelvin) enligt ekvation (2.11).

## 2.5 Beräkningsexempel

### Exempel 1

Vi vill räkna om fukttransportkoefficienten  $1.63 \cdot 10^{-10}$  med enheten  $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$  till  $\delta_v$  i  $\text{m}^2/\text{s}$ . Så som fukttransportkoefficienten är uttryckt innebär det att partialångtrycket är den drivande potentialen. Antag att transportkoefficienten är framtagen vid en temperatur av  $23^\circ\text{C}$ .

### Lösning

Vi använder oss av sambandet att  $\delta_v \approx \delta_p \cdot 461.523 \cdot T$  enligt ekvation(2.11). Absoluta temperaturen är  $T=273+23=296$  K.

Fukttransportkoefficienten med ånghalt som drivande potential blir då

$$\delta_v \approx 1.63 \cdot 10^{-10} \cdot 461.523 \cdot 296 = 22.3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}.$$

### Exempel 2

Vi vill räkna om fukttransportkoefficienten i föregående exempel till  $\delta_\phi$  istället. Så som fukttransportkoefficienten är uttryckt innebär det att partialångtrycket är den drivande potentialen. Antag att transportkoefficienten är framtagen vid en temperatur av  $23^\circ\text{C}$ .

### Lösning

Vi använder oss av sambandet att  $\frac{\delta_\phi}{v_s} = \delta_p \frac{\partial p}{\partial v}$  enligt ekvation(2.11), då blir  $\delta_\phi = \delta_p \frac{\partial p \cdot v_s}{\partial v} = \delta_p \frac{\partial p}{\frac{\partial v}{v_s}}$ , vilket innebär att  $\delta_\phi = \delta_p \frac{\partial p}{\partial \phi}$  och att  $\phi = \frac{p}{p_s}$ . Då blir  $\delta_\phi = \delta_p \cdot p_s$ .

Absoluta temperaturen är  $T=273+23=296$  K.

Vid 296 K är mättnadsångtrycket  $p_s = 2783$  Pa.

Fukttransportkoefficienten med relativ fuktighet som drivande potential blir då

$$\delta_\phi \approx 1.63 \cdot 10^{-10} \cdot 2783 \approx 0.454 \cdot 10^{-6} \text{ kg/ms}.$$

### Exempel 3

Vi vill räkna om fukttransportkoefficienten  $5.43 \cdot 10^{-12}$  med enheten  $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{mmHg})$  till  $\delta_v$  i  $\text{m}^2/\text{s}$ . Så som fukttransportkoefficienten är uttryckt innebär det att partialångtrycket är den drivande potentialen (mmHg). Antag att transportkoefficienten är framtagen vid en temperatur av  $20^\circ\text{C}$ .

## 2. ALLMÄNT OM FUKT

---

### *Lösning*

Först bör vi transformera om fukttransportkoefficienten till en annan enhet i  $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$ .

Det åstadkommer vi genom att skriva om på följande sätt:

$5.43 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-3} \text{ kg}/10^{-2} \text{ m}\cdot\text{s} \cdot 133.323 \text{ Pa} = 4,07287 \cdot 10^{-15} \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$  sedan följer vi samma sätt som i lösningen till exempel 1.

Vilket ger  $\delta_v \approx 4,07287 \cdot 10^{-15} \cdot 461.523 \cdot 293 \approx 5.51 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$

---

## Kapitel 3

# Fuktegenskaper för olika byggnadsmaterial

---

I det här kapitlet finns många källor till fuktegenskaper för olika byggnadsmaterial med fokus på jämviktsfuktkurvor (sorptionisotermer) och fukttransportegenskaper. För att underlätta för läsaren anges även inom vilket fuktighetsområde som data finns tillgängliga.

### 3.1 Trä

Fuktegenskaper för trä och träbaserade skivor finns beskrivna i rapporterna [3, 4]. I rapport [3] är fukttransportkoefficienter framtagna för undersökta trämaterial, furu, gran och träbaserade skivor, i intervallet 55-85 % RF. Då rapporterna är skrivna i slutet på 80-talet har en komplettering gjorts med senare publicerade data i respektive avsnitt.

#### Massivt trä

Sorptionisotermer för gran, furu, bok, björk, ek och oregon pine, i fuktområdet 0-98% RF finns i [11], finns tillgänglig i **Report 36**, se sid 164-169. Sorptionisotermer och fukttransportegenskaper,  $D_W$  och  $\delta_v$ , för furu och gran i hela fuktområdet, finns i [3, 4]. Fukttransportegenskaper,  $\delta_p$  5-95% RF och  $D_W$  i  $u$ -området 0-250 %, för pinjeträ (sugar pine) [*Pinus lambertiana?*] har bestämts för fuktområdet 0-95% RF [12]. Sorptionisotermer gummiträ [*Hevea Brasiliensis*] oljepalmträ [*Elaeis guineensis*] har bestämts för fuktområdet 0-95% RF [13]. Sorptionisotermerna bestämdes i sorp-

tionsväg på pulver/spån från dessa träslag. Sorptions-isotermen för linoljeimpregnerad norsk gran [*Picea abies(L.) Karst.*] bestämdes i intervallet 0-95% RF[14]. Sorptions-isotemer (0-90% RF) vid olika temperatur 20, 50 och 75°C har bestämts för tall [*Pinus silvestris*], gran[*Picea abies*], björk [*Betula verrucosa*] och sälg [*Salix viminalis v. Orm*] [15]. En stor samling sorptionsisotemer i fuktområdet 0-90% RF för följande träslag, lind [*Tilia sp.*], tall [*Pinus silvestris L.*], silvergran [*Abies alba Mill.*], lärkträ [*Larix sp.*], ek [*Quercus sp.*], vanlig ask [*Fraxinus excelsior L.*], asp [*Populus sp.*], tysk-lönn [*Acer pseudoplatanus L.*], sälg/vide [*Salix sp.*], bok [*Fagus sylvatica L.*], vårtbjörk [*Betula verrucosa Ehrn.*], alm [*Ulmus sp.*], al [*Alnus sp.*], valnöt [*Juglans sp.*], surkörsbär [*Prunus cerasus sp.*], körsbärsträ [*Cerasus sp.*], äpple [*Malus sp.*], rosenträ [*Dalbergia sp.*], mahogny [*Swietenia sp.*], japansk ädelcypress [*Chamaecyparis obtusa*] finns i [16]. Transportkoefficienter för weymouthtall,  $D_w$ , i fuktområdet 20-95% fuktkvot, [*Pinus strobus L.*] finns i [17].

## Plywood

Fukttekniska materialdata för plywoodskivor av olika träslag finns för fem olika densiteter, se tabell 3.1. I [18] finns desorptionskurvan för området 0-99.8% RF, två ytterligare punkter har bestämts med tryckplatta vid 99.93 samt 99.98% RF (värden för tryckplatta gäller enbart för gran med densiteten  $445 \pm 5 \text{ kg/m}^3$ ),. Absorptionskurvan har bestämts för fuktområdet 0-88.6% RF. [19] visar fukttransportegenskaper i fuktområdet 25-90% RF och sorptionsisotemer i området 0-97% RF. [20] visar sorptionsisoterm i fuktområdet 0-97.3% RF. [21] visar fukttransportegenskaper som medelfukttransportkoefficient i området 10-100% RF (t.ex.  $\overline{\delta_{p,0-10}}$ ,  $\overline{\delta_{p,0-20}}$ , ...,  $\overline{\delta_{p,0-100}}$ ). Fukttransportegenskaper, ( $\overline{\delta_v}$ ), för formplyfa, finns i fuktområdet 55-97% RF, redovisas i [22] [TVBM-1028](#) se sid 51.

Tabell 3.1 Plywoodskivor med olika densitet

| Träslag                      | Densitet [ $\text{kg/m}^3$ ] | Källa |
|------------------------------|------------------------------|-------|
| gran                         | ( $445 \pm 5$ )              | [18]  |
| gran                         | (445)                        | [19]  |
| tall                         | ( $470 \pm 5$ )              | [18]  |
| tall                         | ( $550 \pm 5$ )              | [18]  |
| okänd                        | (509)                        | [20]  |
| okänd                        | ( $430 \pm 20$ )             | [21]  |
| okänd (lackad på båda sidor) | ( )                          | [22]  |

## Träfiberskivor

Fukttekniska materialdata för tio träbaserade skivor med olika sammansättning och densiteter, se tabell 3.2. [18] visar desorptionskurvan för området 0-99.8% RF som har bestämts med koppförsök, ett fåtal punkter har bestämts med tryckplatta nära 100% RF. Fukttransportkoefficienter är beräknade/härledda och gäller i intervall mellan 0% RF och respektive testad RF-nivå från 10% upp till 100% RF. [23] visar sorptionsisotermer i fuktområdet 0-93% RF. [20] visar sorptionsisoterm i fuktområdet 0-97.3% RF. [24] visar sorptionsisotermer för spånskivor av olika fabrikat se sid 14. [11] visar sorptionsisotermer (absorption, desorption och scanningkurva) för träfiberskivor med olika densitet (300-1050) i fuktområdet 0-98 % RF, finns tillgänglig i **Report 36**, se sid 170-174. I [3, 4] redovisas sorptionsisotermer och fuktberoende fukttransportegenskaper i fuktområdet  $\sim 10$ - $\sim 95$ % RF, ( $\bar{\delta}_v$ ), för träfiberskivor med olika densitet. [25] redovisar fukttransportkoefficienter för spånskiva V313, ( $\bar{\delta}_v$ ), i fuktområdet 35-98% RF vid 20 och 28°C.

Tabell 3.2 Träfiberskivor med olika densitet

| Sammansättning   | Densitet [kg/m <sup>3</sup> ] | Källa  |
|--|-------------------------------|--------|
| poppel [ <i>Populus spp.</i> ], asp [ <i>Populus spp.</i> ] <sup>1</sup>   | (650 ± 30)                    | [18]   |
| balsampoppel [ <i>Populus spp.</i> ], asp [ <i>Populus spp.</i> ] <sup>1</sup>                                       | (660 ± 30)                    | [18]   |
| björk [ <i>Betula spp.</i> ], poppel[ <i>Populus spp.</i> ], asp [ <i>Populus tremula</i> ] <sup>1</sup>             | (650 ± 30)                    | [18]   |
| tall [ <i>Pinus spp.</i> ] $\sim 90$ %, lönn[ <i>Acer spp.</i> ] $\sim 10$ % <sup>1</sup>                            | (655)[26]                     | [23]   |
| asp [ <i>Populus tremuloides Michx.</i> ] <sup>1</sup> $\sim 100$ %  | (650)[26]                     | [23]   |
| tulpanträd <sup>2</sup> $\sim 40$ %, lönn <sup>3</sup> $\sim 20$ %, tall <sup>4</sup> $\sim 10$ %, okänd $\sim 30$ % | (680)[26]                     | [23]   |
| träfiberskiva  | (330 ± 10)                    | [18]   |
| träfiberskiva <sup>1</sup>   | (641)                         | [20]   |
| träfiberskiva med ytskikt (HDF)  | (740 ± 30)                    | [18]   |
| träfiberskivor   | (300-1050)                    | [11]   |
| spånskiva  | (762 )                        | [20]   |
| spånskivor   | (-)                           | [24]   |
| spånskivor   | (215-1080)                    | [3, 4] |
| spånskiva V313   | (-)                           | [25]   |

<sup>1</sup> OSB

<sup>2</sup>[*Liriodendron tulipifera*]

<sup>3</sup>[*Acer spp.*]

<sup>4</sup>[*Pinus spp.*]

## Trägolv

Fuktegenskaper som sorptionsisotermer i fuktområdet 0-91% RF och fukttransportegenskaper vid 25-75% RF samt 55-75% RF, uttryckta som  $Z$ -värde, för tolv olika trägolv finns i [27], och finns tillgänglig på avd byggnadsmaterials hemsida [rapport TVBM-3141](#) på sida 16-20.

## 3.2 Cementbaserade material

### Betong

Sorptionsisotermer (absorption, desorption och scanningkurvor) för betong med olika vct i fuktområdet 0-98 % RF, finns i [11], finns tillgänglig i [Report 36](#), se sid 132-139. De är uttryckta i fuktkvot [kg H<sub>2</sub>O/kg torrt materialprov]. Detta innebär att kurvan gäller enbart för det provet. En betong med samma vct kan ha en annan fuktkvot beroende på att andelen sten inte är representativ i det undersökta materialprovet. Det är därför inte lämpligt att bestämma fukthalt genom att använda ekvation (2.4).

Transportegenskaper för välhydratiserad betong med vct 0.4-0.8, ( $\bar{\delta}_v$ ), i fuktområdet 35-95% RF, redovisas i [28]. [28] finns tillgänglig på avd Byggnadsmaterials hemsida, i rapport [TVBM-1014](#) se sid 63 och framåt.

Sorptionsisotermer (absorption och desorption) för betong med vct 0.3-0.9 i fuktområdet 0-100% RF finns i [5]. Fukttransportegenskaper för betong i fuktområdet 35-100% RF, ( $\bar{\delta}_v$ ), finns också i [5].

Både sorptionsisotermer och fuktberoende fukttransportegenskaper för högpresterande betong (låg vct, med och utan silika), finns i [29]. Observera att den använda ekvationen för fukttransportegenskapen beror på kapillärporositeten hos cementgelelen inte kapillärporositet hos betongen. Sorptionsisotermer för ung högpresterande betong finns också i [29] vilket också finns i [30].

Fuktberoende fukttransportegenskaper, ( $\bar{\delta}_v$ ), i fuktområdet 55-97% RF för betong vct 0.65, finns i rapport [TVBM-1028](#) se sid 50 [22].

Sorptionisotermer för betong med vct mellan 0.2 och 0.8, i fuktområdet mellan 3-100% RF finns i [31].

Absorptionisotermer för betong med vct mellan 0.2 och 0.6, i fuktområdet mellan 0-97% RF finns i [32].

Sorptionsisotermer och fukttransportkoefficienter för högpresterande betong med vct 0.25-0.5 med varierande bindemedel, anläggningscement, flygaska och silika finns i [33].

Sorptionsisotermer, i fuktområdet 10-95% RF, inklusive scanningkurvor för betong med vct 0.4 och 0.65 finns i rapport [TVBM-1028](#) se sid 36, 42-47 [22].

### Lättbetong

Fuktegenskaper för lättballastbetong med lättklinkerkulor som ballast finns tillgängliga på avd byggnadsmaterials hemsida [TVBM-7199](#) [34]. Sorptionsisotermer redovisas på sid 11-13 och fukttransportkoefficienter på sid 17. Dessutom finns desorptionsisotermer för enbart lecakulor uppmätt se sida 6 i samma rapport. Sorptionsisotermer (absorption och desorption) för lättklinkerbetong med olika vct i fuktområdet 0-98 % RF, finns i [11], finns tillgänglig i [Report 36](#), se sid sid 143-146.

Sorptionsisotermer för lättbetong (Ytong), densitet 512 kg/m<sup>3</sup> och 500 kg/m<sup>3</sup>, i fuktområdet 0-98% RF, finns i [35]. Sorptionsisotermer (absorption, desorption och scanningkurva) för autoklaverad lättbetong med olika densitet (230-510) i fuktområdet 0-98 % RF, finns i [11], finns tillgänglig i [Report 36](#), se sid 153-158.

Fukttransportkoefficienter för lättbetong med densiteten 500 kg/m<sup>3</sup>, ( $\bar{\delta}_v$ ), i fuktområdet 35-98% RF vid 10, 20 samt 28°C, redovisas i [25]. Fukttransportegenkaper för lättbetong med densiteten 449 kg/m<sup>3</sup>,  $\mu$ -värdet, i fuktområdet 25-90% RF redovisas i [8].

### Cementbruk

Sorptionsisotermer för cementbruk och kalkcementbruk, i fuktområdet 0-99.997% RF, finns i rapport [TVBM-1024](#) sidan 30 [36]. Transportegenkaper, ( $\bar{\delta}_v$ ), för välhydratiserat cementbruk med vct 0.4-0.8 finns i rapport [TVBM-1014](#) se sid 82 och framåt [34].

Sorptionsisotermer (absorption och desorption) för cementbruk med olika vct och kalkcementbruk, i fuktområdet 0-98 % RF, finns i [11], finns tillgänglig i [Report 36](#), se sid 140-142.

Sorptionsisotermer, i fuktområdet 10-95% RF, inklusive scanningkurvor för cementbruk med vct 0.55 finns i rapport [TVBM-1028](#) se sid 46 [22].

Sorptionsisotermer (desorption) för kalkbruk, i fuktområdet 0-91 % RF, finns i [2], finns tillgänglig i rapport [Technical report 162/86](#).

Sorptionsisotermer (desorption) för kalkputs med densiteten 1600 kg/m<sup>3</sup>, i fuktområdet 0-90 % RF, finns i [2], finns tillgänglig i rapport [Technical report 162/86](#).

## Avjämningsmassa

Sorptionsisotermer för avjämningsmassa (sammansatt av portlandcement, aluminatcement, kalciumsulfat och en mindre mängd silika aska) finns i fuktområdet 10-95% RF se sid 74, i **TVBM-3120**. Transportegenskaper för avjämningsmassa ( $\overline{\delta}_v$ ), i fuktområdet 55-98% RF, finns tillgängliga på avd byggnadsmaterials hemsida i rapporten **TVBM-3120** se sid 55. Sorptionsisotermer i fuktområdet 10-95% RF inklusive scanningkruvor finns i [22] för avjämningsmassa, Floor 4310 Fibre Flow (sammansatt av portlandcement, aluminatcement, kalciumsulfat) **TVBM-1028** se sid 37, 44, 47. Transportegenskaper, ( $\overline{\delta}_v$ ), för Floor 4310 Fibre Flow finns i fuktområdet 55-97% RF, redovisas i [22] **TVBM-1028** se sid 50.

## 3.3 Tegel

Fukttransportegenskaper, ( $\overline{\delta}_p$ ) för tegel i fuktområdet 33 och 90% RF finns i [37]. [11] visar sorptionsisotermer i fuktområdet 0-98% RF, finns tillgänglig i **Report 36**, se sid 158-160. [35] redovisar sorptionsisotermer för tegel i fuktområdet 0-98% RF. [18] visar sorptionsisotermer i intervallet 0-99.93% RF och fukttransportkoefficienter i intervall mellan 0% RF och respektive testad RF-nivå från 10% till 100% RF (t.ex.  $\overline{\delta}_{p,0-10}$ ,  $\overline{\delta}_{p,0-20}$ , ...,  $\overline{\delta}_{p,0-100}$ ). [8] redovisar sorptionsisotermer i fuktområdet 0-99.99% RF samt fukttransportegenskaper i området 25-90% RF. [38] visar sorptionsisotermen från 0 upp till 99.9992% RF och  $\mu$  i fuktområdet 35-90% RF. Sorptionsisotermer finns i fuktområdet 0-99.997% RF, i rapport **TVBM-1024** sidan 29 [36].

Tabell 3.3 Tegel med olika densitet och kalksandsten

| Sammansättning | Densitet [kg/m <sup>3</sup> ] | Källa |
|----------------|-------------------------------|-------|
| Tegel          | (1561)                        | [37]  |
| Tegel          | (1621)                        | [37]  |
| Tegel          | (1680)                        | [11]  |
| Tegel          | (1710)                        | [35]  |
| Tegel          | (1724)                        | [35]  |
| Tegel          | (1860)                        | [11]  |
| Tegel          | (1890)                        | [11]  |
| Tegel          | (1980 ± 30)                   | [18]  |
| Tegel          | (2002)                        | [8]   |
| Tegel          | (2005)                        | [38]  |
| Tegel          | (2030)                        | [11]  |
| Kalksandsten   | (1803)                        | [38]  |
| Kalksandsten   | (1898 ± 31)                   | [36]  |
| Kalksandsten   | (1911 ± 16)                   | [36]  |

### 3.4 Mineralbaserade skivor

Det finns många olika mineralbaserade skivor i byggindustrin idag som används i ytterväggskonstruktioner. Några av skivorna har tagits fram som ett fukttåligt alternativ till pappklädda gipsskivor. Skälet till detta är att pappen har angripits av mögel vilket befaras påverka innemiljön. Tabell 3.4 är en lista på skivmaterial med olika material-sammansättning som har påträffats i litteraturstudien. [18] visar sorptionsisotermer i intervallet 0-99.93% RF och fukttransportkoefficienter i intervall mellan 0% RF och respektive testad RF-nivå från 10% till 100% RF (t.ex.  $\bar{\delta}_{p,0-10}$ ,  $\bar{\delta}_{p,0-20}$ , ...,  $\bar{\delta}_{p,0-100}$ ). [39] redovisar sorptionsisotermer från 0-97.4% RF. [25] visar fukttransportkoefficienter för Minerit, ( $\bar{\delta}_v$ ), i fuktområdet 35-98% RF vid 10, 20 samt 28°C. [40] redovisar fuktdiffusiviteten i intervallet 15-85% RF. [10] redovisar sorptionsisotermer i fuktområdet 0-94% RF och fukttransportegenskaper i intervallet 0-50% RF, 50-93% RF samt 86-93% RF. [8] redovisar sorptionsisotermer i fuktområdet 0-99.99% RF samt fukttransportegenskaper i området 25-90% RF. [21] visar fukttransportegenskaper på samma sätt som som [18]. [41] visar sorptionsisotermer i fuktområdet 0-100% RF inklusive suctionkurvan, transportegenskaper har undersökts med koppmetoden både med rättvända och omvända kopp, och redovisas som Z-värden.

Tabell 3.4 Mineralbaserade skivor sammansättning och densitet

| Sammansättning   | Densitet [kg/m <sup>3</sup> ] | Källa           |
|--|-------------------------------|-----------------|
| Fibercementskiva   | (1380 ± 40)                   | [18]            |
| Fibercementskiva   | (1130 ± 50)                   | [18]            |
| Fibercementskiva   | (-)                           | [39]            |
| Fibercementskiva   | (-)                           | [25]            |
| portlandcement/glasfiber/perlit/flygaska <sup>1</sup>                  | (1150)                        | produktdatablad |
| epoxystabiliserat granulerat glas <sup>2</sup>                         | (500)                         | produktdatablad |
| gipsbaserad kompositskiva <sup>3</sup>                                 | (80 ± 4)                      | produktdatablad |
| portlandcement/asbetsfibrer/pigment/krossad kalk                       | (2030)                        | [40]            |
| portlandcement/cellulosa, PVAfibrer <sup>4</sup> /pigment/krossad kalk | (1840)                        | [40]            |
| gipsbaserad skiva Gyproc A ABA board                                   | (-)                           | [10]            |
| gipsskiva  | (-)                           | [41]            |
| gipsbaserad skiva belagd med latex färg (Bolatex, BOSS)                | (-)                           | [10]            |
| gipsbaserad skiva belagd med akrylfärg (Decomat, BOSS)                 | (-)                           | [10]            |
| gipsskivor <sup>5</sup>  | (-)                           | [41]            |
| Kalciumsilikatskiva  | (267 ± 3)                     | [8]             |
| Kalciumsilikatskiva  | (228 ± 2)                     | [21]            |

<sup>1</sup>Aquapanel Outdoor (Utreds för närvarande av Jörgen F., Miklos M.)

<sup>2</sup>STO Ventec Fasadskiva (Utreds för närvarande av Jörgen F., Miklos M)

<sup>3</sup>Glasroc GHIE13 Hydro

<sup>4</sup>PVA=polyvinylalkohol

<sup>5</sup>Gyproc Normal

### 3.5 Tätskikt, ångspärrar, ångbromsar

Fuktegenskaper för PE-folie, 0.2 mm och HD-polyeten, 0.5 mm,  $Z$ -värde, finns i [42] sid 487. Fuktegenskaper för HD-polyeten, 0.25 mm,  $\overline{\delta}_{p,0-84}$ , i fuktområdet 0-84% RF, finns i [43]. Fuktegenskaper i form av  $S_D$ -värden för perforerade ångbromsar, i fuktområdet 55-95% RF, t.ex. perforerad polyeten folie, tjocklek 0.15 mm; LD polyetenfolie, tjocklek 0.22 mm; LD/HD polyetenfolie, tjocklek 0.3 mm; bitumen membran, tjocklek 2.7 mm; samt bitumen och aluminium membran, tjocklek 4.0 mm; med olika perforeringsgrad finns i [44]. Transportegenskaper för många olika ångspärrar bland annat polyolefin folie, polyamid folie, visas i [45], finns också tillgänglig i den här rapporten. Fuktttransportegenskaper för vindspärr av polypropylen fiberduk som är belagd med en film av polypropylen,  $S_D$ -värde, finns i en rapport tillgänglig på internet som en nedladdningsbar pdf-fil, se sid 2. Fuktttransportegenskaper för PP-fiberduk som stomme med PE-copolymer som beläggning; HD-polyeten som

stomme och LD-Polyeten som beläggning; och polyesterfiberduk som stomme och polyuretan som beläggning,  $S_D$ -värde och  $Z$ -värde, finns i produktdatablad [Halotex](#).

## 3.6 Mattor

Fuktberoende fukttransportegenskaper,  $(\bar{\delta}_v)$ , i fuktområdet 55-97% RF för PVC matta 2 mm, finns i rapport [TVBM-1028](#) se sid 50 [22], se tabell 3.5. Fukttransportegenskaper för mattor med olika uppbyggnad i fuktområdet 40-100% RF  $\bar{\delta}_{p,40-100}$  och  $Z$ -värde finns på sid 111 och 112 i rapport [TVBM-3002](#) [46], se tabell 3.5 och tabell 3.6. Sorptionsisoterm för PVC matta i fuktområdet 0-98% RF [11] finns tillgänglig i [Report 36](#), se sid 181.

Tabell 3.5 PVC-mattor med olika uppbyggnad

| Sammanfattning                              | Principiell uppbyggnad    | Källa |
|---|---------------------------|-------|
| Homogen PVC med polyuretanförstärkt ytskikt | -                         | [22]  |
| 1 mm 75% PVC; 2.3 mm 90% PVC                | slitskikt och baksida     | [46]  |
| 2 mm 75 % PVC                               | slitskikt                 | [46]  |
| 0.9 mm 98% PVC; 1,1 mm 67% PVC              | slitskikt och bottenskikt | [46]  |
| 0.5 mm 95% PVC; 1,1 mm 68% PVC              | slitskikt och bottenskikt | [46]  |
| 0.33 mm 100% PVC; 1,4 mm 90% PVC            | toppskikt och skumskikt   | [46]  |
| 0.45 mm 100% PVC; 1,7 mm PVC                | toppskikt och skumskikt   | [46]  |
| 0.35 mm 100% PVC; 1,0 mm 91% PVC            | toppskikt och skumskikt   | [46]  |

Tabell 3.6 Textilmattor med olika uppbyggnad

| Sammanfattning          | Principiell uppbyggnad         | Källa |
|-------------------------|--------------------------------|-------|
| 2 mm präglad "lågporös" | tuftad med latexbaksida        | [46]  |
| 4 mm plan "högporös"    | tuftad med latexbaksida        | [46]  |
| 2 mm "högporös baksida" | Nålfilt på perforerad PE-folie | [46]  |
| 2 mm utan baksida       | Nålfilt på perforerad PE-folie | [46]  |

## 3.7 Ytbehandlingar

Sorptionsisotemer för åtta olika ytbehandlingar/lack/färg med olika komponenter finns i [2] som finns tillgänglig i rapport [Technical report 162/86](#). Fukttransport-

egenskaper, ( $\delta_p$ ), för dessa och andra ytbehandlingar finns i [47, 48], som finns tillgänglig i rapport [Internal Technical report 430](#) se tabell 10-tabell 12 och artikel [Water vapour permeation through clear coatings](#). [49] redovisar också fukttransportegenskaper, ( $\overline{\delta_{p,100-40}}$ ), för olika ytbehandlingar både opigmenterade och pigmenterade vid olika temperaturer.

Fuktegenskaper för ytbehandlingar finns också i en databas [MASEA](#) på internet.

## 3.8 Värmeisolering

### Cellplastisolering

Källor till sorptionsisotermer och fukttransportkoefficienter för expanderad polystyren, EPS, extruderad polystyren, XPS och polyuretan, PUR, finns i tabell 3.7. [18] visar sorptionsisotermer i intervallet 0-88.1% RF och fukttransportkoefficienter i intervall mellan 0% RF och respektive testad RF-nivå från 10% till 100% RF (t.ex.  $\overline{\delta_{p,0-10}}$ ,  $\overline{\delta_{p,0-20}}$ , ...,  $\overline{\delta_{p,0-100}}$ ). [50] visar sorptionsisotermer i intervallet 0-97.3% RF och fukttransportegenskaper i 0-60% RF och 60-100 % RF,  $\overline{\delta_{p,0-60}}$  och  $\overline{\delta_{p,60-100}}$ . [11] visar sorptionsisotermer i fuktområdet 0-98% RF, finns tillgänglig i [Report 36](#), se sid 178. Produktdatabladet redovisar fukttransportkoefficienten  $\delta_v$ .

Tabell 3.7 *Expanderad polymerbaserad värmeisolering med olika densitet*

| Sammansättning        | Densitet [kg/m <sup>3</sup> ] | Källa                           |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Expanderad polystyren | (14.8 ± 0.2)                  | [18]                            |
| Expanderad polystyren | (30)                          | [50]                            |
| Expanderad polystyren | (31)                          | [11]                            |
| Extruderad polystyren | (42)                          | [50]                            |
| Extruderad polystyren | (28.6 ± 0.2)                  | [18]                            |
| Extruderad polystyren | (28.6 ± 0.2)                  | <a href="#">produktdatablad</a> |
| Polyuretan            | (30)                          | [50]                            |
| Polyuretan            | (39.0 ± 2)                    | [18]                            |
| Uretancellplast       | (25)                          | [11]                            |

## Cellulosafiberisolering

Sorptionsisoterm i fuktområdet 0-97% RF för cellulosaisolering finns i [19]. [18] visar sorptionsisotermerna i intervallet 0-88.1% RF och fukttransportkoefficienter i intervall mellan 0% RF och respektive testad RF-nivå från 10% till 100% RF (t.ex.  $\overline{\delta}_{p,0-10}$ ,  $\overline{\delta}_{p,0-20}$ , ...,  $\overline{\delta}_{p,0-100}$ ).

Tabell 3.8 Cellulosaisolering med olika densitet

| Sammansättning  | Densitet [kg/m <sup>3</sup> ] | Källa |
|-----------------|-------------------------------|-------|
| Cellulosafibrer | (50)                          | [19]  |
| Cellulosafibrer | (30 ± 4)                      | [18]  |

## Mineralull

Fuktegenskaper för mineralull har undersökts i ett flertal studier, se tabell 3.9. Fuktegenskaper för lösull har inte hittats. [18] visar sorptionsisotermerna i intervallet 0-88.1% RF och fukttransportkoefficienter i intervall mellan 0% RF och respektive testad RF-nivå från 10% till 100% RF (t.ex.  $\overline{\delta}_{p,0-10}$ ,  $\overline{\delta}_{p,0-20}$ , ...,  $\overline{\delta}_{p,0-100}$ ). [51] visar sorptionsisotermerna i intervallet 0-97% RF. [52] visar sorptionsisotermerna i intervallet 0-97% RF. [53] redovisar sorptionsisotermerna i intervallet 0-98% RF, samt för två av materialerna även upp till 99.96% RF och fukttransportegenskaper ( $\overline{\delta}_{v,5-26}$ ,  $\overline{\delta}_{v,28.4-97.8}$ ,  $\overline{\delta}_{v,5-97}$ ). [11] visar sorptionsisotermen i fuktområdet 0-97% RF.

Tabell 3.9 Mineralull med olika utformning och densitet

| Sammansättning           | Densitet [kg/m <sup>3</sup> ] | Källa |
|--------------------------|-------------------------------|-------|
| Glasfibermatta           | (11.5)                        | [18]  |
|                          | (13.1)                        | [51]  |
|                          | (16.3)                        | [51]  |
| Glasfiberskiva           | (79)                          | [52]  |
|                          | (119)                         | [52]  |
|                          | (31)                          | [51]  |
|                          | (55)                          | [51]  |
|                          | (79)                          | [51]  |
|                          | (87)                          | [51]  |
| Stenullsmatta            | (49.5)                        | [51]  |
|                          | (28.2)                        | [51]  |
|                          | (59)                          | [51]  |
|                          | (73.2)                        | [51]  |
|                          | (87.8)                        | [51]  |
|                          | (111)                         | [51]  |
| Stenullsskiva            | (117)                         | [51]  |
|                          | (121)                         | [51]  |
|                          | (136)                         | [51]  |
|                          | (159)                         | [51]  |
|                          | (161)                         | [51]  |
|                          | (225)                         | [51]  |
| Stenullsskiva (Hydrofob) | (270)                         | [53]  |
| Hydrofob                 | (110)                         | [53]  |
| Ingen tillsats           | (90)                          | [53]  |
| Ingen tillsats           | (120)                         | [53]  |
| Hydrofil                 | (210)                         | [53]  |
| Hydrofil                 | (90)                          | [53]  |
| Glasull                  | (18)                          | [11]  |
| Stenull                  | (42)                          | [11]  |

---

## Kapitel 4

### Materialdata på internet

---

Det finns åtminstone en databas **MASEA** för byggnadsmaterial som är tillgänglig på internet. I denna databas finns egenskaper för cirka 480 olika byggnadsmaterial definierade och informationen är i form av diagram (sorptionsisotermer=Feuchteseicherkurve funktion förmodligen angivna i  $[\text{kg}/\text{m}^3]$  men det står  $[\text{m}^3/\text{m}^3]$  på y-axeln) och värden (ångdiffusionmotståndsfaktor wasserdampfdiffusionswiderstand som ett  $\mu$ -värde). Genom att känna materialets densitet  $[\text{kg}/\text{m}^3]$  vilket anges vid den tyska termen Rohdichte går det att räkna om sorptionsisotermer till fuktkvot  $\text{kg}/\text{kg}$ . Databasen är på tyska och för att hitta sitt material måste man kunna namnet på tyska.

I den här **pdf-filen** finns källan [18] tillgänglig på internet. I rapporten finns ett trettio-tal olika byggnadsmaterial beskrivna med sorptionsisotermer och fukttransportegenskaper.



---

# Litteraturförteckning

---

- [1] A. Tveit. Measurements of moisture sorption and moisture permeability of porous materials. Technical report, Norges Byggeforskningsinstitutt Rapport 45, 1966. [1](#)
- [2] K. Kielsgaard Hansen. Sorption isotherms - A catalogue. Technical Report Technical report 162/86, Department of civil engineering, The technical university of Denmark, 1986. [1](#), [3.2](#), [3.7](#)
- [3] L.-O. Nilsson. Fukttransportegenskaper hos trä och träbaserade skivor - En byggnadsfysikalisk inventering och analys av kunskaper och kunskapsbehov. Technical Report P-88:4, Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, April 1988. [3.1](#), [3.1](#), [3.1](#), [3.2](#)
- [4] L.-O. Nilsson. Fukttransportegenskaper hos furu, gran och träbaserade skivor - Verifiering och kompletterande bestämning. Technical Report P-90:5, Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, March 1990. [1](#), [3.1](#), [3.1](#), [3.1](#), [3.2](#)
- [5] L.-O. Nilsson. *Betonghandbok: Material, utgåva 2, Kapitel 14 Fukt och betong*. Svensk byggtjänst, 1994. [2.1](#), [3.2](#)
- [6] G. Fagerlund. *Betonghandbok: Material, utgåva 2, Kapitel 10 Struktur och strukturutveckling*. Svensk byggtjänst, 1994. [2.2](#)
- [7] B. Time and S. Uvsløkk. Prosjektrapport 339, Intercomparison on measurement of water vapour permeance, Nordtest - Project agreement 1529-01. Technical report, Norges byggeforskningsinstitutt, 2003. [2.4](#)

- [8] S. Roels, J. Carmeliet, H. Hens, O. Adan, H. Brocken, R. Cerny, Z. Pavlik, C. Hall, K. Kumaran, L. Pel, and R. Plagge. Interlaboratory comparison of hygric properties of porous building materials. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 27(4):307–325, 2004. [2.4](#), [3.2](#), [3.3](#), [3.3](#), [3.4](#), [3.4](#)
- [9] M.K. Kumaran. Interlaboratory comparison of the ASTM standard test methods for water vapor transmission of materials (E 96-95). *Journal of Testing and Evaluation*, 26(2):83–88, 1998.
- [10] S. Roels, P. Talukdar, C. James, and C.J. Simonson. Reliability of material data measurements for hygroscopic buffering. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(23-24):5355–5363, 2010. [2.4](#), [3.4](#), [3.4](#)
- [11] L. Ahlgren. *Moisture fixation in porous building materials (in Swedish)*. PhD thesis, Div of Building Materials, Lund University, 1972. [3.1](#), [3.1](#), [3.2](#), [3.2](#), [3.2](#), [3.2](#), [3.3](#), [3.3](#), [3.6](#), [3.8](#), [3.7](#), [3.8](#), [3.9](#)
- [12] D.M. Burch, W.C. Thomas, and A.H. Fannery. Water vapor permeability measurements of common building materials. volume 98, pages 486–494, Anaheim, CA, USA, 1992. Publ by ASHRAE, Atlanta, GA, United States. [3.1](#)
- [13] J. Zaihan, C. A. S. Hill, W. S. Hashim, J. Mohd Dahlan, and D. Y. Sun. Analysis of the water vapour sorption isotherms of oil palm trunk and rubberwood. *Journal of Tropical Forest Science*, 23(1):97 – 105, 2011. [3.1](#)
- [14] M. Fredriksson, L. Wadsö, and T. Ulvcrona. Moisture sorption and swelling of norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] impregnated with linseed oil. *Wood Material Science and Engineering*, 5(3):135–142, 2010. [3.1](#)
- [15] B. Krupinska, I. Strømmen, Z. Pakowski, and T.M. Eikevik. Modeling of sorption isotherms of various kinds of wood at different temperature conditions. *Drying Technology*, 25(9):1459–1466, 2007. [3.1](#)
- [16] L. Bratasz, A. Kozłowska, and R. Kozłowski. Analysis of water adsorption by wood using the guggenheim-anderson-de boer equation. *European Journal of Wood and Wood Products*, pages 1–7, 2011. [3.1](#)
- [17] H. Yeo, C.-D. Eom, Y. Han, W. Kang, and W.B. Smith. Determination of internal moisture transport and surface emission coefficients for eastern white pine. *Wood and Fiber Science*, 40(4):553–561, 2008. [3.1](#)

- [18] M.K. Kumaran, J.C. Lackey, N. Normandin, F. Tariku, and D. van Reenen. A thermal and moisture transport database for common building and insulating materials. Technical Report 1018-RP, Institute for reserach in construction, National research council Canada, Ottawa, Ontario K1A 0R6, July 2002. [3.1](#), [3.1](#), [3.1](#), [3.2](#), [3.3](#), [3.3](#), [3.4](#), [3.4](#), [3.8](#), [3.7](#), [3.8](#), [3.8](#), [3.8](#), [3.9](#), [4](#)
- [19] P. Talukdar, S.O. Olutmayin, O.F. Osanyintola, and C.J. Simonson. An experimental data set for benchmarking 1-d, transient heat and moisture transfer models of hygroscopic building materials. Part I: Experimental facility and material property data. *International journal of heat and mass transfer*, 50(23-24):4527 – 4539, 2007. [3.1](#), [3.1](#), [3.8](#), [3.8](#)
- [20] R.F. Richards, D.M. Burch, and W.C. Thomas. Water vapor sorption measurements of common building materials. volume 98, pages 475–483, Anaheim, CA, USA, 1992. Publ by ASHRAE, Atlanta, GA, United States. [3.1](#), [3.1](#), [3.1](#), [3.2](#)
- [21] M.K. Kumaran. An alternative procedure for the analysis of data from the cup method measurements for determination of water vapor transmission properties. *Journal of Testing and Evaluation*, 26(6):575–581, 1998. [3.1](#), [3.1](#), [3.4](#), [3.4](#)
- [22] M. Åhs. *Redistribution of moisture and ions in cement based materials*. PhD Thesis, Div. of Building Materials, Lund University, 2011. [3.1](#), [3.1](#), [3.2](#), [3.2](#), [3.2](#), [3.6](#), [3.5](#)
- [23] I.D. Hartley, S. Wang, and Y. Zhang. Water vapor sorption isotherm modeling of commercial oriented strand panel based on species groups and resin type. *Building and Environment*, 42(10):3655–3659, 2007. [3.1](#), [3.2](#)
- [24] L.-O. Nilsson. Flytande golv på styrencellplast. Skarvresning hos spånskivor. Technical Report TVBM-7001, Div. of Building Materials, Lund University, 1979. [3.1](#), [3.2](#)
- [25] G. Hedenblad and W. Roszak. Fukttransportkoefficienter för några byggnads-material. Technical Report TVBM-7057, Div. of Building Materials, Lund University, 1991. [3.1](#), [3.2](#), [3.2](#), [3.4](#), [3.4](#)
- [26] S. Wang, H. Gu, T. Neimsuwan, and S. Wang. Layer thickness swell properities and related properties of commercial OSB products: A comparative study. In

- 37th international wood composite materials symposium proceedings*, pages 65–76. Forest Products Research, 2003. [3.2](#)
- [27] A. Sjöberg and L.-O. Nilsson. *Fuktmätning i betonggolv med golvvärme - Etapp III: Limmade trägolv*. Avd Byggnadsmaterial & Fuktcentrum, LTH, Lunds universitet, 2007. [3.1](#)
- [28] G. Hedenblad. *Moisture permeability of mature concret, cement mortar and cement paste*. PhD Thesis, Div. of Building Materials, Lund University, 1993. [3.2](#)
- [29] K. Norling Mjörnell. *Moisture Conditions in High Performance Concrete. Mathematical Modelling and Measurements*. PhD thesis, Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, 1997. [3.2](#)
- [30] L.-O. Nilsson, G. Hedenblad, and K. Norling Mjörnell. *Betonghandbok: Högpresterande betong - Material och utförande, Kapitel 11 Fuktegenskaper*. Svensk byggtjänst, 2000. [3.2](#)
- [31] V. Baroghel-Bouny. Water vapour sorption experiments on hardened cementitious materials. Part I: Essential tool for analysis of hygral behaviour and its relation to pore structure. *Cement and Concrete Research*, 37(3):414–437, 2007. [3.2](#)
- [32] Y. Xi, Z.P. Bažant, and H.M. Jennings. Moisture diffusion in cementitious materials Adsorption isotherms. *Advanced Cement Based Materials*, 1(6):248–257, 1994. [3.2](#)
- [33] L.-O. Nilsson. Long-term moisture transport in high performance concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 35(254):641–649, 2002. [3.2](#)
- [34] L.-O. Nilsson. *Fuktegenskaper hos lättballastbetonger från Expan A/S : beräkningar och mätningar : Sensobyg - delprojekt D4*. Avd Byggnadsmaterial & Fuktcentrum, LTH, Lunds universitet, 2009. [3.2](#), [3.2](#)
- [35] O. Koronthalyova. Moisture storage capacity and microstructure of ceramic brick and autoclaved aerated concrete. *Construction and Building Materials*, 25(2):879 – 885, 011. [3.2](#), [3.3](#), [3.3](#)

- [36] P. Johansson. *Water absorption in two-layer masonry systems, properties, profiles and predictions*. PhD Thesis, Div. of Building Materials, Lund University, 2005. [3.2](#), [3.3](#), [3.3](#)
- [37] I. Gómez, J.M. Sala, and J.A. Millán. Characterization of moisture transport properties for lightened clay brick - comparison between two manufacturers. *Journal of Building Physics*, 31(2):179–194, 2007. [3.3](#), [3.3](#)
- [38] J. Carmeliet and S. Roels. Determination of the isothermal moisture transport properties of porous building materials. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 24(3):183–210, 2001. [3.3](#), [3.3](#)
- [39] K.E. Wilkes, J.A. Atchley, P.W. Childs, and A. Desjarlais. Effects of drying conditions, phase transformations, and carbonation reactions on measurements of sorption isotherms of building materials. *Journal of ASTM International*, 4(8), 2007. [3.4](#), [3.4](#)
- [40] A. Raouf and A. Sabouraud. Hydrous transfer within fibrous-cement slates. *Materials and Structures*, 30(195):22–28, 1997. [3.4](#), [3.4](#)
- [41] L.-O. Nilsson. Fuktmekaniska egenskaper hos gipsskivor - en experimentell undersökning i och över det hygroskopiska området. Technical Report P-02:3, Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, 2002. [3.4](#), [3.4](#)
- [42] L.-E. Nevander and B. Elmarsson. *Fukthandbok - Praktik och Teori*. Svensk Byggtjänst, 1994. [3.5](#)
- [43] Ray W. Wood and Michael J. Mulski. Methodology for the determination of water vapor transport across plastic films. *International Journal of Pharmaceutics*, 50(1):61 – 66, 1989. [3.5](#)
- [44] P. Slanina and S. Šilarová. Moisture transport through perforated vapour retarders. *Building and Environment*, 44(8):1617–1626, 2009. [3.5](#)
- [45] M.K. Kumaran, J.C. Lackey, N. Normandin, and D. Van Reenen. Vapor permeances, air permeances, and water absorption coefficients of building membranes. *Journal of Testing and Evaluation*, 34(3):241–245, 2006. [3.5](#)
- [46] L.-O. Nilsson. Fuktproblem vid betonggolv - Moisture problems at concrete floors. Technical Report TVBM-3002, Div. of Building Materials, Lund University, 1977. [3.6](#), [3.5](#), [3.6](#)

- [47] M. Yaseen and H.E. Ashton. Water vapour permeation through clear coatings. Technical Report Internal report 430, National Research Council of Canada, Division of Building Research, 1976. [3.7](#)
- [48] M. Yaseen and H.E. Ashton. Water vapour permeation through clear coatings. *Journal of coatings technology*, 50(645), 1978. [3.7](#)
- [49] M Huldén and C.M. Hansen. Water permeation in coatings. *Progress in Organic Coatings*, 13(3-4):171–194, 1985. [3.7](#)
- [50] L. Kuishan, Z. Xu, and G. Jun. Experimental investigation of hygrothermal parameters of building materials under isothermal conditions. *Journal of Building Physics*, 32(4):355–370, 2009. [3.8](#), [3.7](#)
- [51] I.Ya. Gnip, S.A. Veyalis, and V.I. Kershulis. Isotherms of water vapor sorption by light inorganic and polymer heat-insulating materials. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 79(1):40–47, 2006. [3.8](#), [3.9](#)
- [52] L. Marmoret, F. Collet, and H. Beji. Moisture adsorption in glass wool products. *High Temperatures - High Pressures*, 40(1):31–46, 2011. [3.8](#), [3.9](#)
- [53] M. Jiříčková and R. Černý. Effect of hydrophilic admixtures on moisture and heat transport and storage parameters of mineral wool. *Construction and Building Materials*, 20(6):425–434, 2006. [3.8](#), [3.9](#)