

Vochtopname door materialen

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: ir. E.H. Tumbuan, prof.ir. J.J.M. Cauberg, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, TU-Delft

1 Inleiding

Voor de bouwfysische praktijk is de reactie van bouwmaterialen op vocht vooral belangrijk in de relatie met de bouwfysische eigenschappen van gebouwen. De volgende aspecten worden door vocht uit de directe omgeving beïnvloed:

- de vochthuishouding van een ruimte (het binnenklimaat);
- de vochthuishouding in een constructie;
- de warmtegeleiding van het materiaal.

In alle gevallen gaat het om de manier waarop vocht in het materiaal dringt en wordt vastgehouden c.q. vrijgegeven. In deze module wordt vooral nader ingegaan op het materiaalgedrag dat vooral afhankelijk is van de microscopische materiaalstructuur en de vorm waarin het vocht voorkomt:

- als damp;
- als water.

Voor het berekenen van vochtdiffusie door een constructie wordt verwezen naar [1]. In deze module worden aanvullend enkele andere aspecten van vocht in en transport door materialen behandeld.

Het gaat daarbij om:

- hygroscopisch vocht;
- capillair vochttransport.

Hygroscopisch vocht is vocht dat zich in evenwicht met de relatieve vochtigheid van de omringende lucht in het materiaal bevindt. Capillair transport van vocht ontstaat door krachten van cohesie en adhesie. Bij dit alles is de poriënstructuur van het materiaal de bepalende factor.

2 Poriënstructuur van bouwmaterialen

Materialen hebben een gesloten of open poriënstructuur. Bijna elk bouw materiaal bestaat uit vaste stof met daarin kleine holle ruimtes. In sommige materialen zijn deze ruimtes niet met elkaar verbonden, in andere staan ze (al dan niet willekeurig) met elkaar in verbinding. Als de richting van capillairen willekeurig naar alle kanten is, is het een isotroop materiaal. Hout is anisotroop omdat de richting van de kanaaltjes sterk in een richting ligt.

Afhankelijk van de structuur of ordening van de poriën dragen de holtes bij in het vochttransport door het materiaal:

- deze holten vormen een (capillaire) verbinding door het materiaal heen;
- de holte loopt dood: er is alleen een bijdrage in het hygroscopische gedrag van het materiaal.

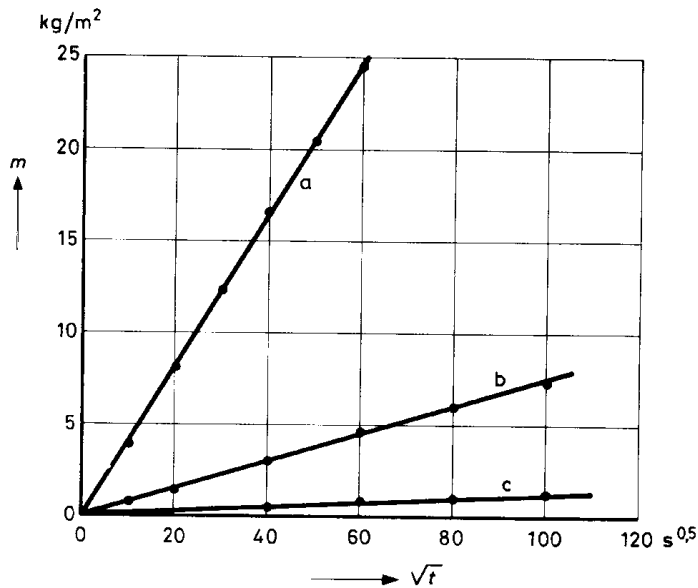
Poriën in een bouw materiaal die met het blote oog zichtbaar zijn, hebben meestal een diameter > 0,1 mm: dit wordt een grof poreus materiaal genoemd. Bij een kleinere diameter spreekt men van een fijn poreus materiaal.

Een verdere indeling kan worden gemaakt met bij voorbeeld de druppelproef. Daarbij worden met een pipet of iets dergelijks vijf druppels op het materiaaloppervlak gedruppeld; vervolgens wordt gemeten hoe lang het duurt voordat deze zijn opgenomen door het materiaal of hoe lang deze druppels op het oppervlak blijven liggen. Zodoende kan men een indeling maken als in tabel 1.

proef	indeling			
blote oog	grof poreus		fijn poreus	
druppelproef	dicht	wateropnemend	Dicht	opzuigend

tabel 1. indeling van materialen met eenvoudige methoden

Er kan nog een fijnere verdeling worden aangebracht op basis van de opzuigsnelheid.

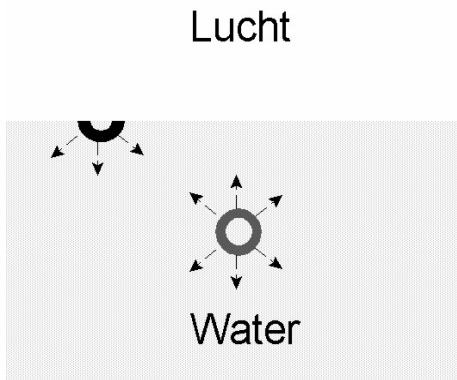


figuur 1. toename van het vochtgehalte m door opzuiging aan een vrij oppervlak als functie van de tijd voor a. baksteen, b. cellenbeton en c. grindbeton [1]

Een dicht materiaal is een materiaal met weinig poriën of slechts enkele (grotere) ingesloten holtes zoals bij voorbeeld een ingesloten luchtbel in een stuk glas. Bouwmaterialen met een dergelijke structuur zijn bij voorbeeld inwendig verglaasde of gesinterde bakstenen, klinkers, basalt, porselein maar ook sommige soorten beton en kunststofplaten vallen hieronder. Om optrekkend vocht tegen te gaan, wordt het onderste gedeelte van een muur veelal in een dichtere steensoort (klinker) uitgevoerd. Vocht opzuiging is een uiting van capillair vochttransport.

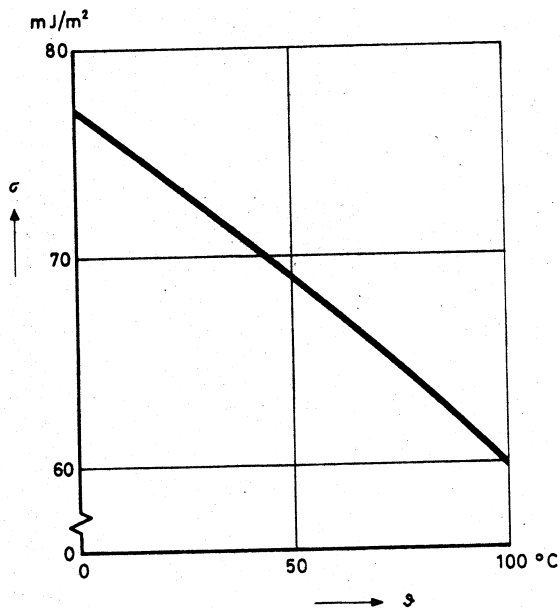
3 Capillair vochttransport

De grootte van de aantrekkingskracht tussen twee moleculen is kleiner naarmate hun onderlinge afstand toeneemt. Moleculen die volledig omringd zijn door andere moleculen ondervinden naar alle kanten dezelfde aantrekkingskracht. Moleculen aan de oppervlakte daarentegen niet (zie de volgende figuur):



figuur 2. aantrekkingszones rondom een watermolecuul in het grensgebied van lucht-water

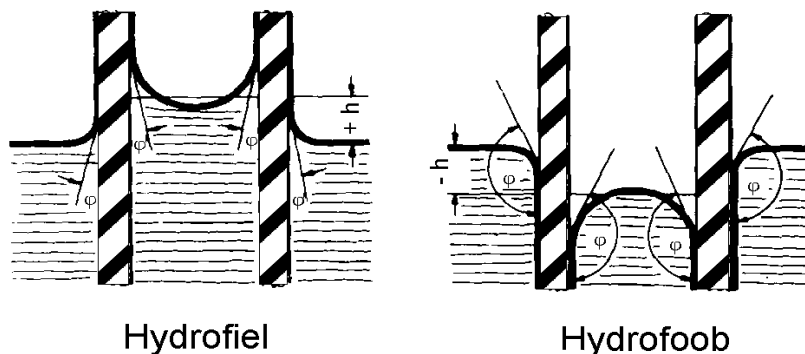
Zoals bekend, trekken moleculen elkaar aan. Boven een bepaalde afstand is er geen aantrekkingskracht meer. In het grensvlak lucht-water kunnen de watermoleculen niet zonder extra energie ontsnappen naar de gasfase: dit manifesteert zich in een oppervlaktetension: Er is energie nodig om de buitenste moleculen los te maken van de rest van de vloeistof. Binnen in de vloeistof ondervinden de moleculen een resulterende kracht die gelijk is aan nul. Het verschil tussen deze twee krachten wordt uitgedrukt in de oppervlaktetension σ [J/m^2]. Deze oppervlaktetension is afhankelijk van de temperatuur. Voor water is die als volgt:



figuur 3. oppervlaktetension van water als functie van de temperatuur [1]

Omdat de oppervlaktespanning van de temperatuur afhankelijk is, kan een temperatuurverschil over de beide zijden van een capillair ervoor zorgen, dat er een vochttransport optreedt, en wel in de richting van de lage temperatuur. Over het algemeen wordt voor water gerekend met een vaste waarde van $\Phi=75 \cdot 10^{-3} \text{ J/m}^2$.

Behalve deze oppervlaktespanning bestaan er ook adhesiekrachten tussen een gas en een vloeistof en/of een vaste stof. Moleculen van allerlei soorten trekken aan elkaar. Dit wordt veroorzaakt door de di-elektrische eigenschappen van stoffen ten gevolge van de elektronenconfiguraties in de (samenstellende) atomen. Afhankelijk van de verhouding tussen deze beide krachten is de vloeistofspiegel of meniscus van een vloeistof ter plekke van het contact met de wand van de capillair in het bouw materiaal hol of bol:



figuur 4. kenmerkende vormen van de vloeistofspiegel in een capillair

De samenwerking tussen oppervlaktespanning en adhesie veroorzaken samen het verschijnsel dat als capillariteit bekend staat. Deze capillariteit is verantwoordelijk voor het water dat in kleine kanaaltjes kruipt. In horizontale kanaaltjes kan water oneindig ver doordringen, al neemt de opnamesnelheid bij grotere lengte wel af. In verticale capillairen is een maximum stijghoogte die afhankelijk is van de diameter van de capillair. Thompson, de latere lord Kelvin, heeft hierbij de volgende naar hem genoemde wetmatigheid ontdekt:

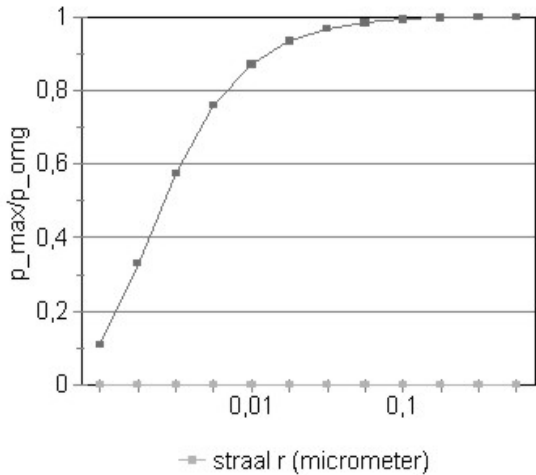
$$p_{\max} = p_0 \exp\left(\frac{-2\sigma}{r\ell RT}\right)$$

$$p_{\max} = p_0 \exp\left(\frac{-2\sigma}{r\ell RT}\right)$$

Hierin is:

- p_{\max} maximale dampspanning boven het water in de capillair
- p_0 "normale" maximale dampspanning (omgeving buiten de capillairen)
- Φ oppervlaktespanning van de vloeistof
- Δ soortelijke massa van de vloeistof (water: $\ell = 1000 \text{ kg/m}^3$)
- R gasconstante (voor waterdamp: $R= 462 \text{ J/(kgK)}$)
- r straal van de capillair
- T temperatuur

Grafisch weergegeven ziet de functie er zo uit:



figuur 5. onderdruk in een verticaal capillair als functie van de straal

De optredende stijghoogte wordt nu berekend door het gewicht van de waterkolom gelijk te stellen aan de oppervlaktespanning:

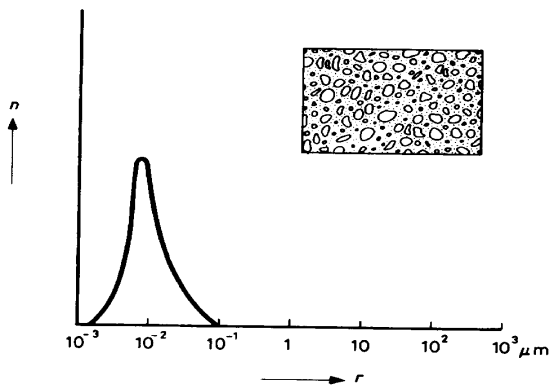
$$g \cdot \rho \cdot h = \frac{2 \cdot \sigma}{r}$$

Hiermee kan de maximale stijghoogte h_0 als volgt worden uitgedrukt:

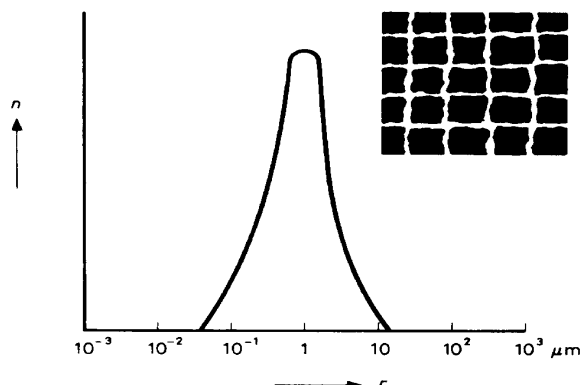
$$h_0 = \frac{2 \cdot \sigma}{g \cdot \rho \cdot r}$$

Bij poriën van 1 tot 0,001 μm vindt men met deze formule een maximale stijghoogte van 30 tot $30 \cdot 10^3 \text{ m}$. In werkelijkheid wordt deze hoogte nooit bereikt door verdamping of onderbreking van de poriën. In de praktijk zijn daarom altijd laboratoriumproeven nodig om de maximale stijghoogte van een materiaal te bepalen.

De gemiddelde grootte van de poriën verschilt van materiaal tot materiaal. In de volgende twee figuren is voor beton en een baksteen de poriënverdeling weergegeven [1]:



figuur 6a. capillairverdelingscurve van beton



figuur 6b. capillairverdelingscurve van baksteen

4 Vochtgehalte

4.1 Evenwichtsvochtgehalte

De adhesieve eigenschap van stoffen heeft naast de rol die het speelt bij optrekkend vocht in constructies ook invloed op het binden van vocht uit de omgevende lucht.

Het gewicht van een droog materiaal kan variëren als de omgevingscondities veranderen. Het materiaal bindt op de een of andere manier waterdamp uit de lucht. De processen die hierbij een rol spelen, zijn dezelfde als hiervoor behandeld bij capillair vocht. Het is verrassend dat de hoeveelheid water die aldus kan worden gebonden niet afhangt van de absolute dampdruk van de lucht maar van de relatieve vochtigheid. Het bij een bepaalde RV behorende vochtgehalte in een materiaal wordt het evenwichtsvochtgehalte genoemd

4.2 Hygroscopisch vocht

Door de verlaging van de maximale dampspanning p_{max} in een kleine porie met de straal r treedt capillaire condensatie op. De condensatie begint tegen de wanden van de poriën. Het binden van de watermoleculen langs de wanden van de poriën wordt moleculaire absorptie genoemd. Het vocht dat in de poriën met een diameter kleiner dan $50 \cdot 10^{-3}$ m aanwezig is, wordt het hygroscopische vocht genoemd.

In de volgende tabel is voor een aantal materialen het hygroscopische vochtgehalte gegeven dat in een stationaire situatie ontstaat:

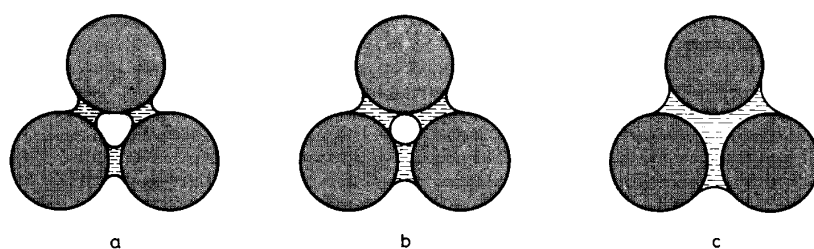
materiaal	RV=40%	RV=65%	RV=95%
kalkzandsteen	2	4	8-12
beton	2-3	3-4	8
naaldhout	2-3	4-5	12-15
cementpleister	0,5	1	4
baksteen (rood)	0,2-0,3	0,3-0,4	0,8-1,1
steenwol	0	<0,1	<0,1
PS-schuim	0	0	<0,2

tabel 2. hygroscopisch evenwichts-vochtgehalte in volumepercentage

Uit de praktijk is bekend dat optrekkend vocht in constructies tot schade kan leiden. Dat komt omdat in het water zouten zijn opgelost. Als dit vocht aan de buitenzijde verdampt, slaat het zout neer (je kunt constateren dat het echt zout is door je vinger nat te maken en het daarmee afgestreken zout te proeven). Behalve dat dit zout esthetisch minder aantrekkelijk is, heeft het als bijgevolg dat het hygroscopische vochtgehalte erdoor wordt verhoogd. Dit kan tot schade leiden als het gaat vriezen.

4.3 Kritisch watergehalte

Dit begrip kan het best worden beschouwd door materialen te zien als opgebouwd uit bolvormige elementen. Het proces wordt beschreven aan de hand van de volgende figuur.



figuur 7. voor en na de fase van kritisch watergehalte (b) bij een bolstapeling [1]

Door adhesie binden watermoleculen uit de omgevingslucht zich aan de materiaalbolletjes. Er ontstaan meniscussen zoals in figuur 7. Zolang nog niet alle boloppervlakten bevochtigd zijn, zijn de verzamelde wateropeenhopingen nog niet met elkaar in verbinding (situatie a). Er is een bepaalde grens van de vulling van de poriën in een materiaal waarbij er watertransport in vloeibare vorm gaat optreden. Deze grens wordt het kritisch watergehalte genoemd. Dat is zodra de wateropeenhopingen met elkaar in verbinding komen (situatie b). Als alle ruimtes tussen de bolletjes zijn opgevuld, is het maximum vochtgehalte bereikt (situatie c).

In de volgende tabel zijn voor een aantal materialen deze waarden verzameld:

materiaal	massa [kg/m ³]	Ψ_x [m ³ /m ³]	Ψ_o [m ³ /m ³]
kalkzandsteen	1800	0,08-0,11	0,28-0,32
beton	2300	0,125	0,13
cellenbeton	700	0,20	0,74
cementmortel	2100	0,18	0,214
baksteen	1700	0,08	0,36
tufsteen	1100	0,09	0,58
PS-schuim enz.	-	-	-

tabel 2. kritisch (Ψ_x) en maximaal (Ψ_o) vochtgehalte van enkele bouwmaterialen [1]

LITERATUUR

1. E.Tammes en B.H. Vos, "Warmte- en vochttransport in bouwconstructies", Kluwer Deventer, 1980
2. H.Hens, "Bouwfysica 1", Acco Leuven, 1997
3. Ch.F.Hendriks, "Duurzame Bouwmaterialen", college CTma1120, Aeneas Best, 1999
4. G.Staufenbiel, J.Wessig, "Bauphysik und Baustofflehre: eine einführung in Experimenten", Bauverlag GmbH Berlin, Wiesbaden, 1986