

Burkmetoden

– för fukttransportegenskaper hos betong

Foto: Johan Tannfors.



Figur 1: Burkar med betong. Täta burkar för kontroll av kemisk torkning och öppna burkar för kontroll av diffusiv uttorkning. Till vänster burkar för kontinuerlig fuktmätning och t.h burkar för vägning.

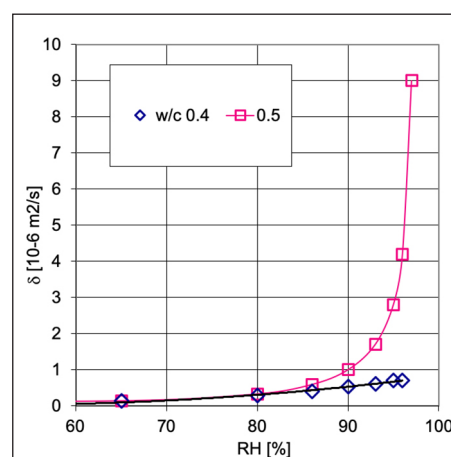
Fukttransportegenskaper hos betong är viktiga att kvantifiera för att kunna göra vederhäftiga fuktberäkningar, till exempel av fuktomfördelning under mer eller mindre täta ytskikt på underlag av betong som är delvis uttorkad. Sådana beräkningar är vanliga idag [1], men tillförlitligheten hos resultatet beror till stor del på kunskap om betongens fukttransportegenskaper

Under senare år har helt nya betonger börjat användas och data för dem har länge saknats. Det behövs nya mätningar på de nya betongerna, med olika bindemedel, med tillförlitliga metoder. En sådan metod presenteras här.

Tidigare metoder

De data vi har, och har haft, för betong har länge varit de som Göran Hedenblad bestämde i slutet av 1980-talet [2]. Han använde tjocka provkroppar, 60-150 mm, och lät dem stå i eller över vatten med konstant klimat på ovansidan under tre till fem år för att uppnå stationärt fuktflöde genom dem. Genom att sedan mäta fuktflödet och RF-profilen (RF = Relativ Fuktighet) kunde han utvärdera fukttransportkoefficienter och deras fuktberoende. Mätningarna gjordes på ordinär Portlandcementbetong (OPC) och provkropparna var uppenbarligen välhärdade efter fem år. Hans resultat för låga vattencementtal, vct, visas i figur 2. Hedenblads data visar ett stort fuktberoende för vct 0,5 och högre, medan för vct 0,4 är fukttransportkoefficienten betydligt mindre fuktberoende.

Den traditionella metoden för att bestämma fukttransportegenskaper är annars den så kallade koppmetoden där



Figur 2: Fukttransportkoefficienten δ som funktion av RF för OPC-betong med vct 0,4 och 0,5. Data från Hedenblad (1993).

en skiva av materialet sätts som lock på en glaskopp som innehåller en mättad saltlösning som ger en viss RF. Koppen placeras i ett klimatrums eller en klimatbox med en annan RF. RF-skilnaden över skivan ger upphov till ett fuktflöde. Med konstant RF över och under skivan får man så småningom stationärt flöde genom skivan. Detta flöde bestäms genom att väga koppen regelbundet. Viktändringen ger fuktflödet och när detta är konstant utvärderas fukttransportkoefficienten.

Koppmetoden är standardiserad sedan länge och används för många olika material [6]. Men koppmetoden har inte använts särskilt ofta för betong eftersom det tar så lång tid att uppnå stationärt fuktflöde. Betong med grov ballast kräver en tjock skiva som provkropp. I mätningarna som



Lars-Olof Nilsson
Moistenginst AB



Kent Bergström
Polygon I AK



Staffan Carlström
Swerock AB



Mattias Gunnarsson
PEAB



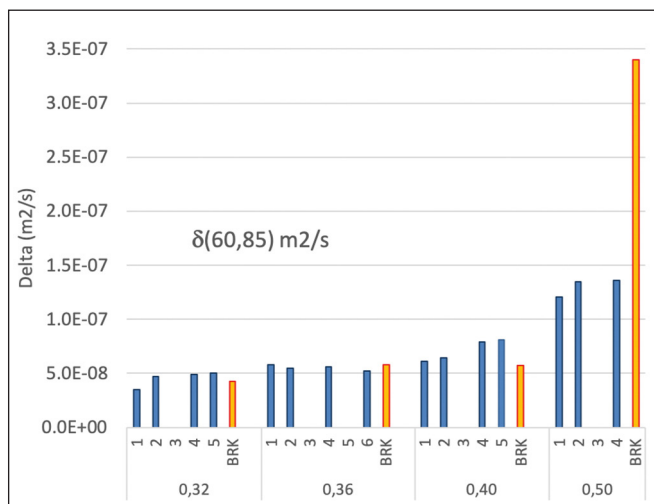
Johan Tannfors
Polygon I AK

redovisas nedan användes 30 mm tjocka betongskivor av betong med maximal stenstorlek av 16 mm. Mätningar tog då upp till ett år.

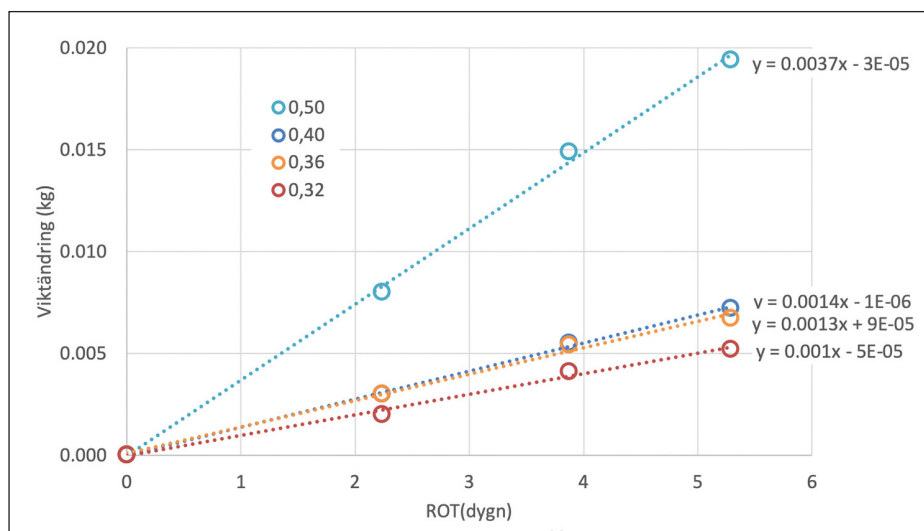
Koppmetoden har använts flitigt för tunnare provkroppar av bruk, också på senare år [3], [4], [5]. Mätningar på bruk har använts för att kvantifiera effekten av olika bindemedel, olika härdning och fukthistorier. Data för bruk kan naturligtvis inte direkt översättas till betong, men storleksordningen är fullt jämförbar. Bruk har visserligen mycket mindre andel ballast än betong och därmed större andel pasta. Eftersom fuktflödet går genom pastan och inte genom ballasten skulle man därför kunna tro att bruk med större pastaandel skulle ha mycket större fukttransport än betong. Men så är det inte.

Det är inte bara pastaandelen som skiljer bruk och betong åt. Pastan i betong innehåller en hel del mikrosprickor som en naturlig del av betong med (grov) ballast. Dessa sprickor ger naturligtvis ett större fuktflöde än i pasta utan sprickor som i bruk. I internationell litteratur hävdas ofta att en stor del av skillnaden i transportegenskaper mellan bruk och betong beror på att det finns en "ITZ", "interfacial transition zone", en övergångszon nära ballastkornens yta och att denna zon är mer porös än pastan på längre avstånd från ballastkornen.

Vad som är effekten av ITZ respektive mikrosprickor tvistar forskarna om, men effekterna finns och redan Hedenblad [2] visade att det inte är så stor skillnad i fukttransportegenskaper hos bruk respektive betong, trots den stora skillnaden i andel pasta. Men för säkerhets skull bör man bestämma fukttransportegenskaperna på provkroppar av betong och inte bruk, om de ska användas i fuktberäkningar för betongkonstruktioner.



Figur 4: Fukttransportkoefficienten δ för fyra bascementbetonger med olika vbt. Blå staplar från koppmetoden. Orange staplar från burkmetoden. Data från [8].



Figur 3: Viktändringar hos burkar med fyra olika bascementbetonger med olika vattenbindemedelstal vbt som funktion av kvadratroten ur tiden. Datapunkter från vägningar av Kent Bergström, Polygon|AK.

Burkmetoden

Polygon|AK började använda burkmetoden för ett par år sedan genom att väga plåtburkar fyllda med olika betonger för att kvantifiera hur de torkar, efter viss härdningstid med lock på burken, se figur 1.

Det visade sig vid en första utvärdering att viktändringen var en linjär funktion av kvadratroten ur tiden, se exemplet i figur 3. Betongen som använts i försöken har härdats i stängd burk under cirka 1 år innan teststart.

Man insåg snabbt att detta borde kunna utnyttjas för att kvantifiera materialegenskaper. Det visade sig att man kan utvärdera fukttransportegenskaperna från lutningen hos linjerna i figur 3 med hjälp av en enkel ekvation [7]:

$$M(t) = 2C_0 \sqrt{\frac{Dt}{\pi}} \quad (1)$$

där $M(t)$ är viktminskningen (kg/m^2), D är diffusiviteten (m^2/s), t (s) är tiden och C_0 (kg/m^3) är fukthaltsskillnaden mellan

fukthalten w_1 då uttorkningen startar och jämviktsfukthalten w_2 i torkklimatet.

Utvärderingen förutsätter att man först uppnått en känd fukthalt w_1 i hela betongvolymen. Detta är normalt väldigt tidsödande om man ska torka betongen i en burk till en viss, avsedd fukthalt, jämnt fördelad i hela betongvolymen. För betong, särskilt betong med lågt vct, kan man då utnyttja betongens egen självuttorkning som sänker fukthalten (och RF) i hela den förseglade betongvolymen i takt med att betongen härdar. Det blir då den aktuella betongen som bestämmer vilken fukthalt man startar vid.

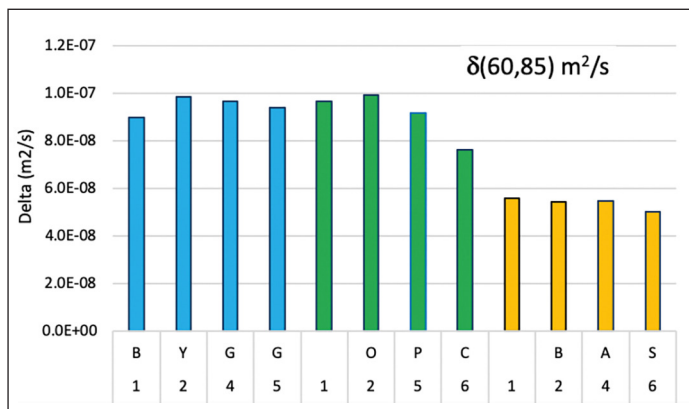
De båda fukthalterna skulle man kunna bestämma, med viss osäkerhet och efter väldigt lång tid. Enklare är då att bestämma dem genom att översätta skillnaden i RF mellan torkstart RF_1 och jämvikt RF_2 till denna fukthaltsskillnad. Man behöver då bara veta sorptionskurvas lutning i intervallet mellan dessa båda RF.

Verifiering med koppmetoden

Efter burkmätningarna som redovisas i figur 1 skivades borrkärnor av betongerna till provkroppar för koppmetningar. Kopparna hade en saltlösning som gav 85 procent RF inne i koppen och de placerades i ett klimatrums med $+20^\circ\text{C}$ och 60 procent RF. Kopparna vägdes regelbundet för att detektera när viktändringen är konstant i tiden, det vill säga man uppnått stationärt fuktflöde ut ur kopparna, genom provskivorna. Detta visade sig kräva en mättid på upp till ett år. Koppmetoden är uppenbarligen inte lämplig för härdande betong.

Resultaten från koppmetningarna jämförs med resultaten från burkmätningarna för de fyra betongerna i figur 4.

Överensstämmelsen är god mellan resultat från de båda metoderna, för



Figur 5: Fukttransportkoefficienten δ för tre betonger med vbt 0,36 och olika bindemedel: Byggcement, OPC och Bascement bestämda med koppmetoden i intervallet 60-85 % RF. Fyra provkroppar av varje. Data från [9].

betong med vbt 0,4 och lägre, trots att RF-intervallen är något olika i de båda mätningarna. Detta beror på att fukttransportkoefficienten för dessa betongerna är i det närmaste konstant, det vill säga har inget större fuktberoende [4].

För betongen med vbt 0,5 är det stor skillnad. Denna betong har ett stort fuktberoende, jämför kurvorna i figur 2, och eftersom de båda mätmetoderna har stor skillnad i RF-intervall, 50-96 respektive 60-85 procent RF, blir det också stor skillnad hos koefficienten δ . De båda värdena är medelvärden i olika RF-intervall. Mätningar i olika RF-intervall kan användas för att kvantifiera detta fuktberoende, det vill säga genom att använda flera olika torkklimat med burkmetoden.

Olika bindemedel

Burkmetoden användes nyligen för en serie betonger med olika bindemedel och vbt 0,36. Verifiering gjordes då också med koppmetoden på samma sätt som ovan [9]. Resultaten åskådliggörs i figur 5.

Bascementbetongen, med flygaska, är något tätare än Byggcementbetong med kalkstensfyller och den rena Portlandcementbetongen i det aktuella RF-intervall. Koppmätningarna har även här relativt liten spridning.

Betong med GGBS som del av bindemedlet

Burkmetoden har nyligen använts för att bestämma fukttransportkoefficienter för en serie betonger med och utan GGBS¹ och luftinblandning [10]. De första resultaten visas i tabell 1.

Mätningarna är relativt få och mätresultaten gäller i olika RF-intervall vilket försvårar en direkt jämförelse. Man kan ändå utläsa att resultaten indikerar följande:

- Den helt dominerande parametern är vattenbindemedelstalet vbt.
- Luftinblandning om cirka 10 procent gav en markant ökning av fukttransportkoefficienten hos OPC-betongerna (1-6) men ingen tydlig effekt på betongen med GGBS.
- Inblandning av GGBS med 20 procent ger inte mycket tätare betong i dessa mätningar; betongen med 35 procent GGBS verkar ge något högre fukttransportkoefficient än 20 procent GGBS, men den betongen har ett annat cement.

Fortsättning - fukttransport i hårdande betong

Genomförda provningar visar att resultat från den relativt enkla "burkmetoden" överensstämmer bra med genomförda

koppförsök. Burkmetoden bedöms utifrån detta som en mätmetod som skulle kunna användas i större skala för att utvärdera fukttransportegenskaperna för olika betongsammansättningar. Metoden fungerar bättre och ger mer adekvata värden vid låga vattencementtal. För högre vct är fuktberoendet hos fukttransportkoefficienten stort och burkmetoden ger bara ett medelvärde av en kurva.

Burkmetoden har en potential att bestämma fukttransportegenskaper vid yngre ålder. Hittills har bara ett år gammal, eller äldre, betong testats. Själva mätningen med metoden tar bara ett par veckor så det borde fungera bra att mäta på betong som är betydligt yngre, från ett par månader och uppåt. ■

Referenser

- [1] Tannfors, J. & Pettersson, F. (2019) *Uttorkningsoptimering av betong*, Bygg & teknik 7/19.
- [2] Hedenblad, G. (1993) *Moisture permeability of mature concrete, cement mortar and cement paste*. Rapport TVBM-1014, LTH-Byggnadsmaterial, Lund, 1993.
- [3] Saeidpour, M. & Wadsö, L. (2016) *Moisture diffusion coefficients of mortars in absorption and desorption*, Cement and Concrete Research. 83, s. 179-187 9 s.
- [4] Olsson, N., Nilsson, L.-O., Åhs, M., Baroghel-Bouny, V. (2018) *Moisture transport and sorption in cement-based materials containing slag or silica fume*, Cement and Concrete Research. 106, s. 23-32 10 s.
- [5] Linderöth, O. (2020) *Hydration, pore structure, and related moisture properties of fly ash blended cement-based materials. Experimental methods and laboratory measurements*. Rapport TVBM-1039, Avd Byggnadsmaterial, LTH
- [6] ISO (2016). ISO 12572:2016. *Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of water vapour transmission properties — Cup method*. International Organization for Standardization, <https://www.iso.org/standard/64988.html>
- [7] Crank, J. (1973) *The Mathematics of Diffusion*. Second edition, Oxford University Press
- [8] Nilsson, L.-O. & Bergström, K. (2020) *The tin can method for determining moisture transport properties of concrete*. Nordiskt Symposium för Byggnadsfysik, Tallin 7-9 september 2020
- [9] Nilsson, L.-O. (2019) *Fukttransportegenskaper hos betong med olika bindemedel - Koppmätningar för betonger med vbt 0.36*. Rapport 1923, Moistenginst AB, Trelleborg, www.moistenginst.se
- [10] Nilsson, L.-O. (2020) *Fukttransportegenskaper hos slaggbetonger. Rapport 2024*, Moistenginst AB, Trelleborg, www.moistenginst.se

Tabell 1: Fukttransportkoefficienter för betonger med och utan GGBS och olika lufthalter [10]. (Observera att värdena på fukttransportkoefficienten δ gäller i något olika RF-intervall.)

Betong	vbt	Bindemedel	Lufthalt	Andel GGBS	Delta δ (10^{-6} M ² /S)	RF-intervall (%)
1	V50/0	0.50			0.13	29-90
2	V50/10	0.50	10 %		0.34	29-91
3	V38/0	0.38			0.07	29-85
4	V38/10	0.38	10 %		0.09	29-84
5	V38/15	0.38	15 %		0.09	29-87
6	V32/10	0.32	10 %		0.05	29-85
7	S38/0	0.38		20 %	0.07	29-82
8	S38/10	0.38	10 %	20 %	0.07	29-85
9	A38/10	0.38	10 %		0.11	29-90
10	S35/0	0.35		35 %	0.09	47-84
11	S45/0	0.45		35 %	0.12	47-89

(Betongerna 1-8 har OPC, betong 9 har Anläggningscement och betong 10-11 har SH-cement.)

¹GGBS = Ground Granulated Blastfurnace Slag, det vill säga mald, granulerad masugnsslagg från stålindustrin.