

**BURKMETODEN**  
**– för bestämning av fukttransportegenskaper hos betong**

Uppdragsgivare: Polygon AK

2019-10-03

Lars-Olof Nilsson

## Förord

I byggbranschen görs idag sofistikerade fuktberäkningar av hur byggfukt i betong omfördelas efter applicering av avjämning och olika typer av golvmaterial. För detta krävs tillgång till detaljerade fuktegenskaper hos ingående material. För särskilt betong med nya bindemedel saknas i stort sett data för fukttransportegenskaper helt.

På uppdrag av Polygon AK, genom Kent Bergström, har undertecknad undersökt om "burkmetoden" kan användas för att kvantifiera fukttransportegenskaper hos betong och vilka begränsningar metoden har. Metoden har också verifierats genom att göra jämförande mätningar på samma betonger med den klassiska koppmetoden.

Ett Excel-verktyg för utvärderingen har skapats. Detta finns tillgängligt hos Polygon AK.

Lars-Olof Nilsson

Innehållsförteckning

Förord .....	1
Bakgrund .....	3
Teori .....	4
Utvärdering.....	6
Användning.....	7
Utvärderingsexempel .....	7
Kontrollberäkning .....	8
Utvärderingsverktyg .....	9
Karbonatisering .....	10
Verifiering .....	11
Provkroppar .....	11
Viktändringar .....	11
Utvärdering.....	13
Kommentar.....	14
Slutsatser .....	16
Referenser .....	17
Bilaga 1 Betongskivor .....	18

## Bakgrund

Att bestämma fukttransportegenskaper för betong är tidsödande. Traditionella metoder baseras på att man når stationärt fuktflöde genom provkroppar. För betong måste provkropparna vara relativt tjocka eftersom betong innehåller grov ballast. Hedenblad (1993) ansågs sig behöva tre till fem år för att säkert uppnå stationärt flöde genom sina 6-15 cm tjocka provkroppar. De flesta mätningar av fukttransportegenskaper är därför gjorda på cementpasta eller bruk, för att korta mättiden. De få data vi har för betong tyder på att skillnaden inte är så stor mellan bruk och betong men för säkrare kvantifiering borde vi mäta på betong.

Ett enkelt sätt att kvantifiera fukttransportegenskaper hos material är att använda en icke-stationär metod, dvs att göra mätningar på provkroppar som torkar eller uppfuktas, antingen genom att följa genomsnittliga fukthaltsändringar genom vägningar eller genom att bestämma fuktprofiler vid olika tidpunkter. Sådana metoder är svåra att få tillförlitliga för material som har fuktberoende fukttransportegenskaper. De är också problematiska att använda för ett material som härdande betong som ändras med tiden. Under vissa förutsättningar borde det ändå vara möjligt att använda en icke-stationär metod för betong. Sådana förutsättningar är bl a att mätningar inte görs på alltför ung betong och inte på betong som har stort fuktberoende hos fukttransportegenskaperna. I praktiken innebär detta att en sådan metod borde kunna användas för betong med lågt vattencementtal,  $v_{ct} < 0.5$ , som härdats åtminstone några månader.

En enkel metod, "burkmetoden", är att gjuta betong i en stålburk, sätta på locket och härda betongen förseglat under en viss tid för att därefter öppna locket och väga burken då betongen torkar i ett givet klimat. Viktändringen med tiden kan användas för att kvantifiera fukttransportkoefficienten under vissa förutsättningar.

På uppdrag av Polygon AK, genom Kent Bergström, har undertecknad undersökt om en sådan metod kan användas och vilka begränsningarna är. Metoden har också verifierats genom att göra jämförande mätningar på samma betong med en klassisk, stationär metod: koppmetoden.

I rapporten beskrivs först den teoretiska bakgrunden och hur nödvändiga parametrar kan kvantifieras. Några utvärderingsexempel visas och en numerisk verifiering görs med en uttorkningsberäkning. Inverkan av karbonatisering diskuteras. Slutligen genomförs en serie koppförsök under en femmånadersperiod för att verifiera att burkmetoden ger tillförlitliga resultat.

## Teori

Utvärderingen av viktändringarna av en burk med betong som torkar baseras på ekvation (3.15) i Crank (1973). För ett halvoändligt fall ges mängden "diffunderande ämne" (dvs fuktavgång)  $M(t)$  av

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

där

$M(t)$  är mängden som lämnar materialet, dvs som transporteras ut ur materialytan ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ),

$C_0$  är den konstanta initialkoncentrationen (dvs fukthalten) på alla djup ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),

$D$  är diffusiviteten ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),

$t$  är tiden (s).

Förutsättningen för ekvation (1) är att ytkoncentrationen  $C(x=0) = 0$ . För fallet att ytkoncentrationen är  $> 0$ , t ex  $C(x=0, t=0) = C_1$  blir ekvationen

$$M(t) = 2(C_0 - C_1)\sqrt{\frac{Dt}{\pi}} = 2(C_0 - C_1)\sqrt{\frac{D}{\pi}} \cdot \sqrt{t} = k \cdot \sqrt{t} \quad (2)$$

Genom att plotta burkens viktändring  $M(t)$  som funktion av kvadratroten ur tiden ska en rät linje erhållas om, och så länge, ovanstående förutsättningar är uppfyllda. En av dessa förutsättningar är att fallet är "halvoändligt", dvs att koncentrationen  $C$  (fukthalten) inte ändrats på stort djup, dvs i botten av burken. När en sådan ändring börjar ske ändras tidsförloppet så att plottningen inte längre ger en rät linje.

En annan förutsättning är att diffusiviteten  $D$  är konstant. För fukt innebär det att fukttransportkoefficienten  $\delta_{RF}$  (eller  $\delta_v$ ) och fuktkapaciteten  $dw/dRF$  är konstanta.

Ur lutningen  $k$  hos den räta linjen kan materialets diffusivitet  $D$  bestämmas, om koncentrationerna (fukthalterna)  $C_0$  och  $C_1$  är kända

$$k = \frac{M(t)}{\sqrt{t}} = 2(C_0 - C_1)\sqrt{\frac{D}{\pi}} \quad (\text{kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{s}})) \quad (3)$$

Diffusiviteten  $D$  fås då ur

$$D = \frac{\pi k^2}{4(C_0 - C_1)^2} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (4)$$

Den fukttransportegenskap som normalt används i beräkningar är dock inte diffusiviteten  $D$  utan fukttransportkoefficienten  $\delta$  eller my-värdet  $\mu$ .

Diffusiviteten  $D$  för fukt, vid en viss fuktnivå, definieras av

$$D = \frac{\delta_{RF}}{\frac{dw}{dRF}} \quad \text{eller} \quad D = \frac{\delta_v}{\frac{dw}{dRF}} \cdot v_s(T) \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (5)$$

där  $dw/dRF$  är fuktkapaciteten ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $v_s(T)$  är mättnadsånghalten vid temperaturen  $T$ .

Med hjälp av diffusiviteten  $D$  kan man alltså bestämma fukttransportkoefficienten om sorptionskurvan är känd.

Svårigheten med ekvation (4) är att fukthalterna  $C_0$  och  $C_1$  måste vara kända.  $C_0$  är fukthalten då uttorkningen startar och  $C_1$  är fukthalten då uttorkningen har gett jämviktsfukthalten på alla djup, dvs efter väldigt lång tid.

För betong har vi här en unik möjlighet, som inte är tillgänglig för andra material. Om betongen har fått härda under förseglade förhållanden har självuttorkningen gett samma sänkning av fukthalten på alla djup, dvs en konstant fukthaltsfördelning, som teorin kräver. För andra material skulle detta kräva mycket lång tid.

En svårighet kvarstår: att "slippa" bestämma fukthalterna  $C_0$  och  $C_1$ . Teorin kräver inte att vi vet dessa båda fukthalter, "bara" skillnaden mellan dem,  $C_0$  och  $C_1$ ! Ett sätt att kvantifiera denna är att mäta motsvarande RF och utnyttja att vi känner fuktkapaciteten.

Om man antar att sorptionskurvan är en rät linje, mellan fukthalterna  $C_0$  och  $C_1$ , här kallade  $w_1$  och  $w_2$ , kan man enkelt uttrycka fuktkapaciteten mellan  $RF_1$  och  $RF_2$

$$\frac{dw}{dRF} = \frac{w_1 - w_2}{RF_1 - RF_2} \quad (\text{kg}/\text{m}^3) \quad (6)$$

Detta antagande är rimligt för en betong med lågt vct.

Fukthaltsdifferensen  $C_0 - C_1$  i ekvation (2)-(4) kan då uttryckas som

$$w_1 - w_2 = \frac{dw}{dRF} (RF_1 - RF_2) \quad (\text{kg}/\text{m}^3) \quad (7)$$

Insatt i ekvation (4)

$$D = \frac{\pi k^2}{\left(2 \frac{dw}{dRF} (RF_1 - RF_2)\right)^2} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (8)$$

Fukttransportkoefficienten  $\delta_v$  fås då genom insättning i ekvation (5)

$$\frac{\delta_v}{\frac{dw}{dRF}} \cdot v_s(T) = \frac{\pi k^2}{\left(2 \frac{dw}{dRF} (RF_1 - RF_2)\right)^2} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (9)$$

vilket blir

$$\delta_v = \frac{\frac{dw}{dRF} \cdot \pi \cdot k^2}{v_s(T) \left( 2 \frac{dw}{dRF} (RF_1 - RF_2) \right)^2} = \frac{\pi k^2}{4 \cdot v_s(T) \cdot \frac{dw}{dRF} (RF_1 - RF_2)^2} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (10)$$

Ekvation (10) är den ekvation ska användas för att utvärdera mätningar med burkmetoden.

## Utvärdering

Parametrarna i ekvation (10) kan erhållas på följande sätt:

1. Parametern  $k$  utvärderas ut viktändringarna hos en burk; viktändringen plottas mot kvadratroten ur tiden och lutningen bestäms och uttrycks i  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{s}})$ ,
2.  $v_s(T)$  är mätnadsånghalten vid den aktuella temperaturen,
3.  $dw/dRF$  är fuktkapaciteten mellan  $RF_1$  och  $RF_2$  som erhålls ur desorptionsisotermen, om den är känd, eller uppskattas ur nedanstående diagram och cementhalten.
4.  $RF_1$  är RF vid uttorkningens start, dvs efter självuttorkning,
5.  $RF_2$  är RF i omgivningen under uttorkningen av burken.

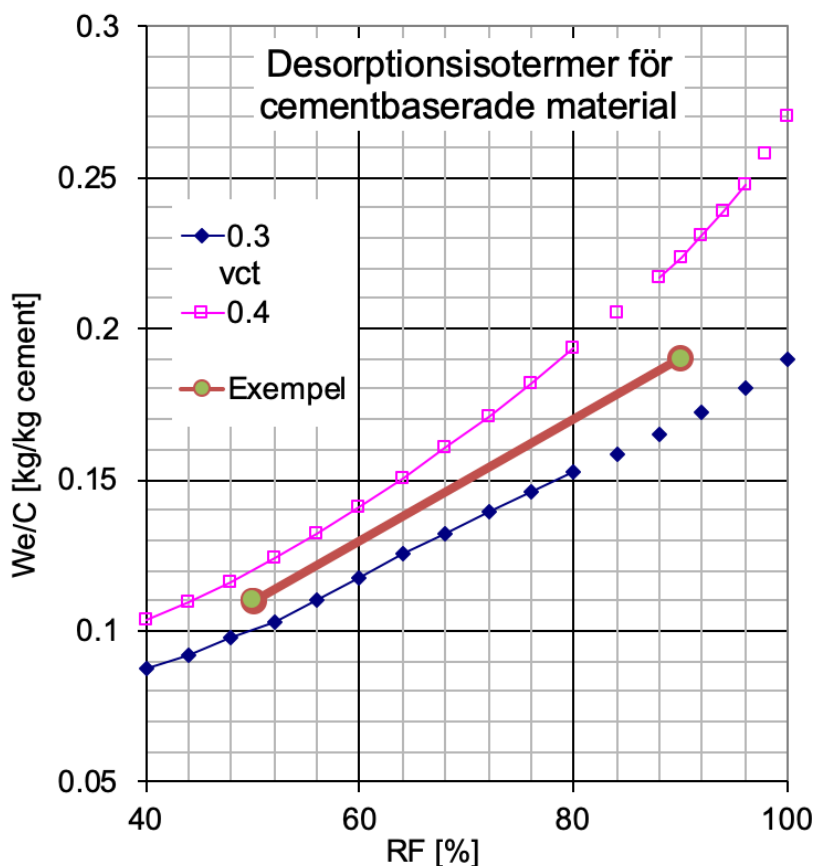


Diagram för uppskattning av fuktkapaciteten; data från Nilsson (1980)

1. Interpolera mellan kurvorna för aktuellt vbt; se exemplet för vbt 0.35.
2. Välj start  $RF = RF_1$ ; i exemplet 90 % RF, dvs 0.90.

3. Välj slut-RF, dvs torkklimat  $RF_2$ ; i exemplet 50 % RF, dvs 0.50.
4. Avläs  $w_1/C$  och  $w_2/C$  för  $RF_1$  respektive  $RF_2$ ; i exemplet 0.19 och 0.11 kg/kg cement.
5. Beräkna lutningen:  $(w_1/C - w_2/C)$  dividerat med  $(RF_1 - RF_2)$ ; här  $(0.19-0.11)/(0.90-0.50) = 0.08/0.4 = 0.20$  (i samma RF-intervall fås 0.26 för vct 0.40 och 0.18 för vct 0.30).
6. Multiplicera med cementhalten; för t ex  $C = 450 \text{ kg/m}^3$  i exemplet fås  $dw/dRF = 0.20 \cdot 450 = 90 \text{ kg/m}^3$ .

## Användning

Burkmetoden lämpar sig särskilt väl för (låg-vct-)betong eftersom en förutsättning är en känd, konstant fuktfördelning då uttorkningen börjar och vägningarna påbörjas. I betong ger cementreaktioner självuttorkning på alla djup som i normala fall (utan extrema temperaturförhållanden) ger upphov till en sänkning av fukthalten och därmed en sänkning av RF. Denna RF bör mätas eftersom den är en viktig parameter i utvärderingen.

Teorin förutsätter att materialegenskaperna är konstanta i tiden. Det innebär att uttorkningen, och vägningarna, inte får påbörjas för tidigt. Lämpligen låter man betongen härda minst en månad.

Teorin förutsätter också att materialegenskaperna är konstant med djupet. Så blir det tyvärr inte när man gjuter betong och jämnar till överytan på något sätt. I betong blir det då en högre cementhalt än genomsnittet ju högre upp mot överytan man kommer eftersom de största ballastkornen inte får plats högst upp. Detta kan spela en viss roll eftersom det är den första delen av uttorkningsprocessen som ingår i Burkmetoden och denna del av uttorkningen sker till stor del i den övre delen av betongen i burken.

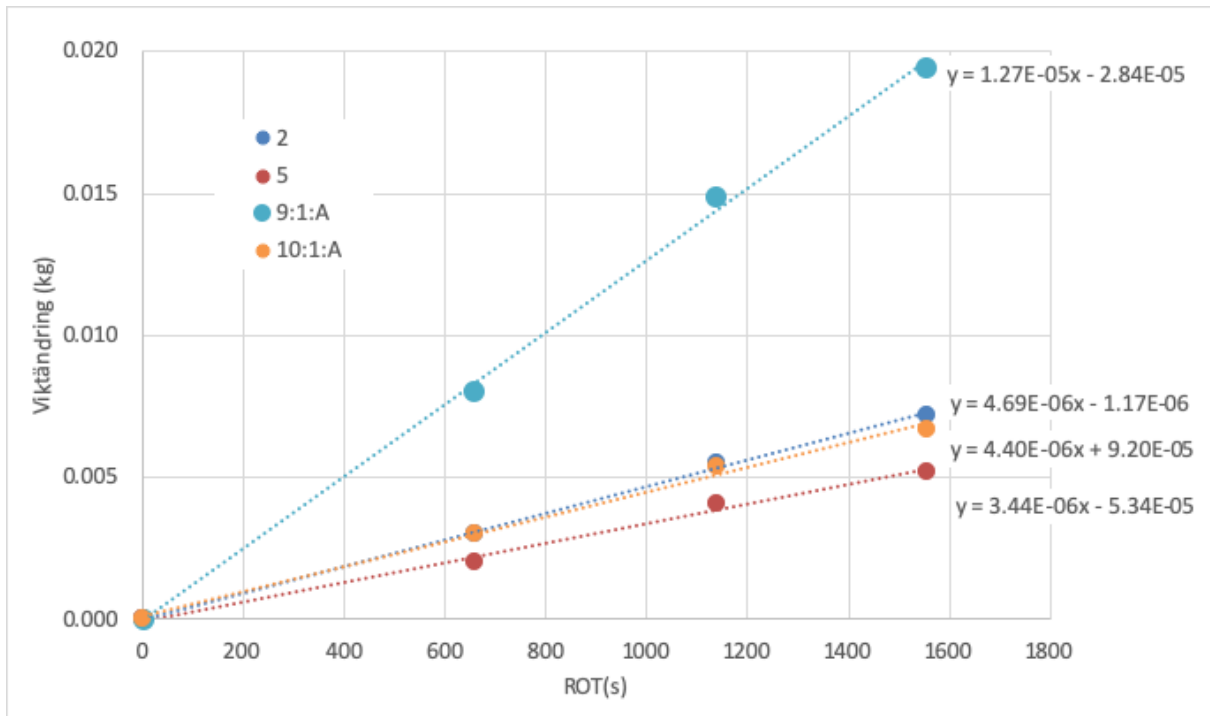
## Utvärderingsexempel

Burkvägningar genomförda av Kent Bergström, Polygon AK, för fyra Bascementbetonger tillverkade av Cementa AB har plottats mot kvadratroten ur tiden (i sekunder), se diagrammet nedan.

TABELL I De fyra (Bascement)betongerna

Betong	vct	C (kg/m <sup>3</sup> )
5	0.32	545
2	0.40	470
9.1A	0.50	375
10.1A	0.36	510





Alla datapunkter ligger snyggt på en rät linje, helt enligt teorin (så länge det är "halvoändligt", dvs RF har inte sjunkit i botten än).

Utvärderingen enligt Metoden ger:

Betong	vct	kg cement	lutning kg/ROT(s)	lutning kg/m <sup>2</sup> ROT(s)	dw/dRF per kg C	dw/dRF	RF1	RF2	Delta (m <sup>2</sup> /s)
5	0.32	545	3.44E-06	1.21E-04	0.20	109	0.88	0.5	4.25E-08
2	0.4	470	4.69E-06	1.65E-04	0.26	122	0.92	0.5	5.76E-08
9.1A	0.5	375	1.27E-05	4.48E-04	0.33	124	0.96	0.5	3.48E-07
10.1A	0.36	510	4.40E-06	1.55E-04	0.22	112	0.91	0.5	5.80E-08

Dessa värden på fukttransportkoefficienten är av rimlig storleksordning! Om det är korrekt bör verifieras genom mätning med koppmetoden på precis samma betonger.

## Kontrollberäkning

Kontrollberäkningar har gjorts med beräkningsverktyget KFX för konstant fukttransportkoefficient  $\delta_v = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  och konstant fuktkapacitet  $dw/dRF = 100 \text{ kg/m}^3$ . Beräknad minskning av medelfukthalten med tiden omvandlades till viktändring (kg). Värdet vid 25 dygn sattes in i ekvation (10) varvid erhöles  $\delta_v = 0.97 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , vilket får anses vara tillräcklig noggrannhet.

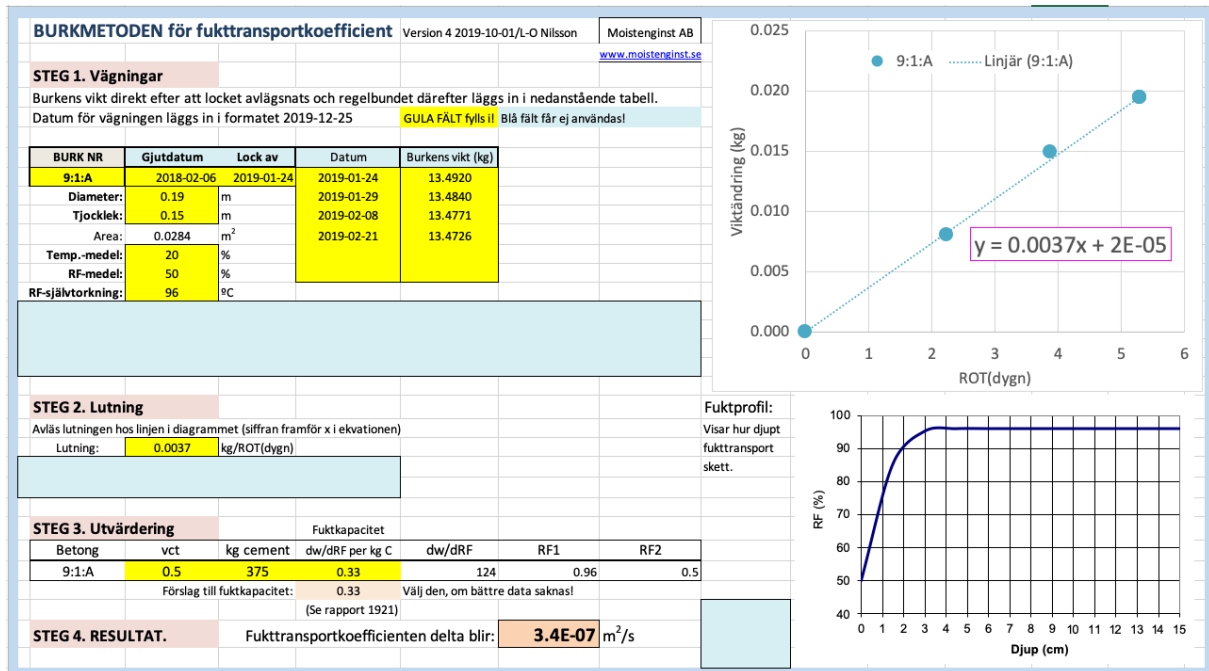
Slutsats: Burkmetoden verkar ge tillförlitligt resultat.

Resultatet av den numeriska beräkningen är väldigt beroende av hur man gör cellindelningen närmast den torkande ytan. Här har en cellindelning gjorts med tio celler med storlekar på 1, 1, 2, 2, 4, 10, 10, 20, 20, 30 respektive 40 mm. Cellindelning med tio lika stora celler gav ett helt annat resultat.

## Utvärderingsverktyg

Ett Excel-verktyg har tagits fram där användaren kan lägga in uppmätta viktändringar, uppgifter om betongen och uppgifter om torkklimatet. Har man inte tillgång till desorptionsisotermen ges ett förslag till fuktkapacitet att använda baserat på Nilsson (1980).

Verktyget åskådliggörs i nedanstående bild.

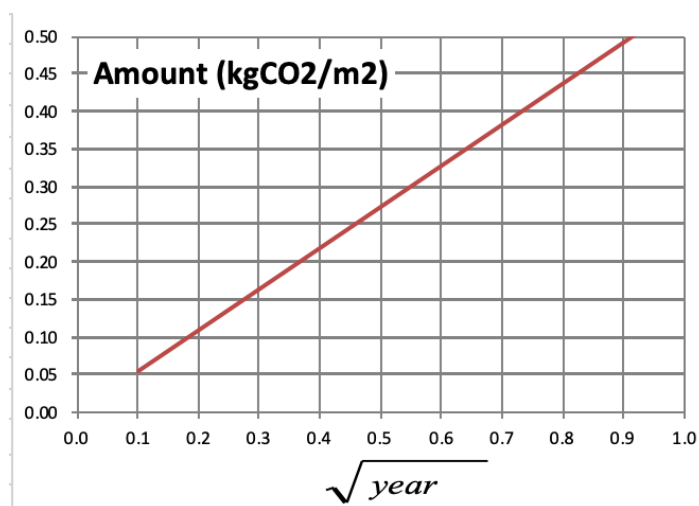


I verktyget finns också, i nedre högra hörnet, ett diagram som visar den beräknade RF-profilen vid den sista vägningen. I exemplet, för en betong med vct 0.5, visas att det är bara burkbetongens yttersta, översta, 3 cm som fått någon uttorkning.

## Karbonatisering

Om burken varit helt försluten med ett lock har betongytan inte karbonatiserats. När uttorkningen sedan startar, och burken tappar vikt pga uttorkning, börjar den också ta upp koldioxid vilken ökar vikten, dvs minskar viktändringen. Karbonatiseringen har också den effekten att vatten frigörs, en vattenmolekyl per koldioxidmolekyl, vilket motsvarar 18/44 av viktökningen pga koldioxidupptag. Detta vatten ökar fukthalten något i det karbonatiserade skiktet. Det karbonatiserade skiktet får samtidigt något ändrade fuktfixerings- och fukttransportegenskaper, Kropp (1983). Sammantaget innebär karbonatisering samtidigt som uttorkning att den uppmätta viktändringen underskattar fuktavgången något. Burkmetoden skulle därför ge en fukttransportkoefficient som är något mindre än den verkliga.

En uppskattning av effekten av karbonatisering har gjorts med hjälp av en modell för absorption av koldioxid pga. karbonatisering, Nilsson (2011). I den modellen har data för betongen ovan med vct 0.5 lagts in (vct 0.5, cementshalt 375 kg/m<sup>3</sup>, andel Portlandcementklinker i cementet 80 %, RF = 50 %). Den erhållna absorptionen av koldioxid under det första året visas i nedanstående diagram.



Beräknad koldioxidabsorption pga. karbonatisering av bascementbetong med vct 0.5 under det första året, enligt modell enligt Nilsson (2011).

I utvärderingsexemplet ovan bestämdes viktändringar under 28 dygn, vilket motsvarar  $28/365=0.077$  år eller  $0.28 \sqrt{\text{år}}$ . I diagrammet ovan ger det en viktökning pga koldioxidabsorption på ca 0.15 kg/m<sup>2</sup>. Den uppmätta viktminskningen var  $0.019/0.028=0.68$  kg/m<sup>2</sup>. Koldioxidabsorptionen har alltså minskat viktändringen med ca 20 %, dvs fukttransportkoefficienten borde vara ca 20 % större än i exemplet ovan.

## Verifiering

Teorin ovan är klar, men bör verifieras med direkt bestämning av fukttransportkoefficienten med en traditionell metod: koppmetoden!

Sådana mätningar har påbörjats på skivor utsågade ur borrhärnor från de aktuella burkarna enligt ovan.

## Provkroppar

Fyra burkar har använts för att genomföra mätningar med koppmetoden på samma betonger som använts i burkmetoden samt ytterligare en Bascementbetong, nr 10, med vct 0.36. Ur burkarna borrades först ut en 95 mm borrhärna, med vattenkylning. Därefter sågades ca 30 mm tjocka skivor ur denna borrhärna. Eftersom betongburken också innehåller horisontella rör för RF-mätningar kunde inte alla skivor användas; 3-4 skivor per betong var användbara.

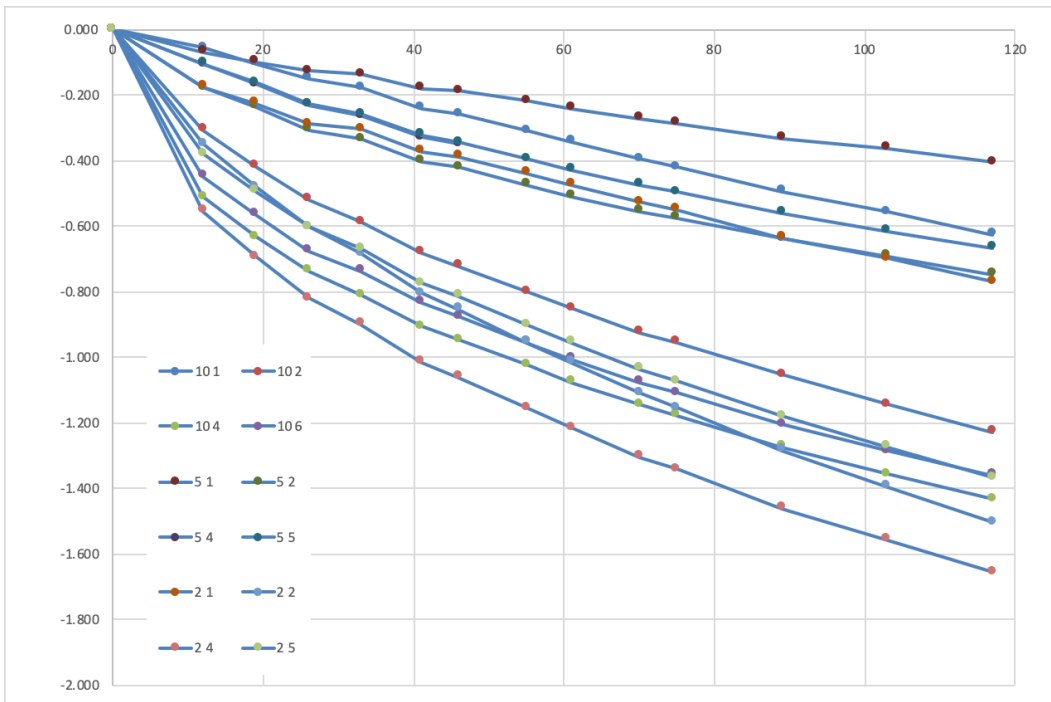
Betongskivorna dokumenterades genom att tjockleken bestämdes med skjutmått på ett antal ställen. Den översta skivan i respektive borrhärna har en ojämn överyta efter att ha varit i kontakt med burkens plåtlock under härdningen, se foton. Skivorna fotograferades och vägdes, se Bilaga 1.

Betongskivorna kantförseglades med Platon Tätband och placerades på en glaskopp innehållande en mättad lösning av kaliumklorid, KCl, som ger en RF av 85 % inuti koppen. Kopparna placerades i ett klimatrum på LTH med klimatet +20°C och 60 % RF och vägdes en gång per vecka till att börja med och sedan en gång per två veckor.

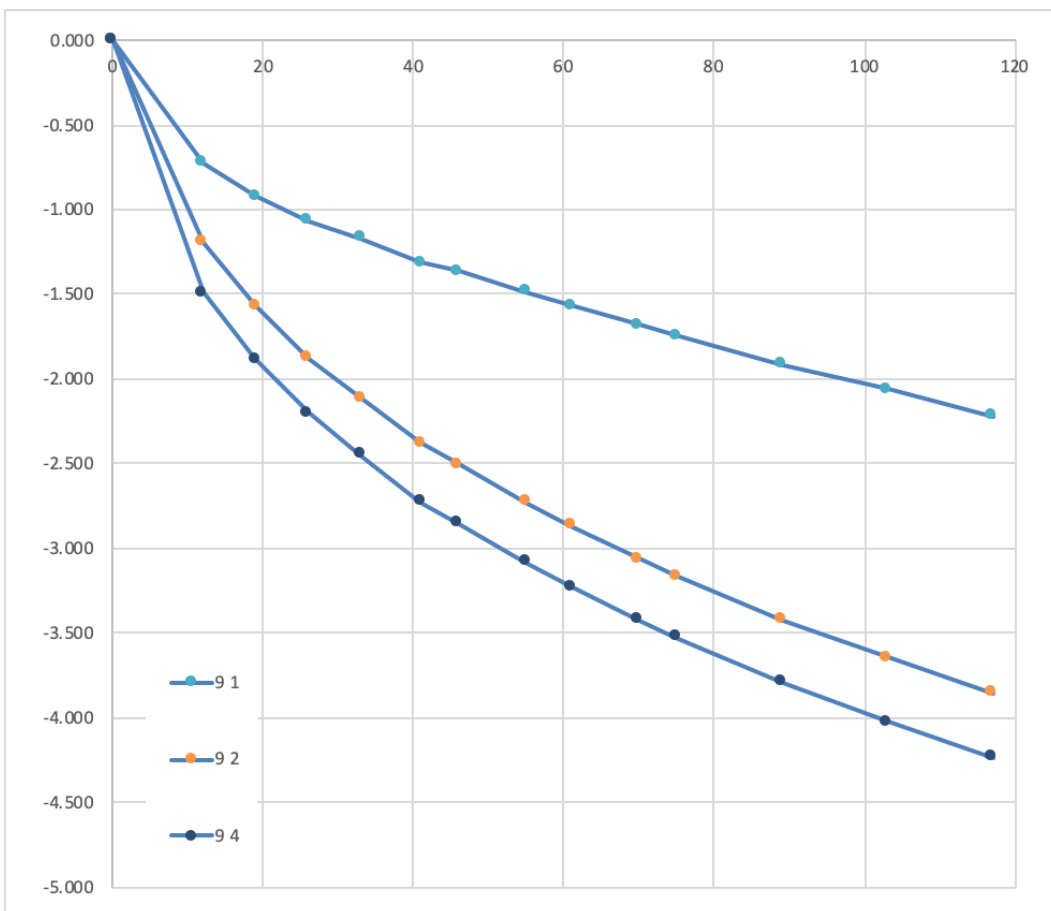
## Viktändringar

Betongskivorna blev något uppfuktade i samband med utborrning och sågning och tappade mest vikt vid de första vägningarna. Viktändringarna blev sedan mindre och mindre i takt med att fuktprofilen genom betongskivan succesivt närmar sig en stationär fuktprofil. Hittills har vägningar gjorts under ca fem månader och de tre-fyra senaste vikterna har använts för en preliminär utvärdering. Kopparna kommer att vägas fortsättningsvis för att klargöra hur nära stationära förhållanden uppnåtts vid denna tidpunkt.

Viktändringarna redovisas i diagramform på nästa sida.



Viktändring (gram) hos koppar med betonger nr 2, 5 och 10 (vct 0.4, 0.32 respektive 0.36) under ca fyra månader



Viktändring (gram) hos koppar med betong nr 9 (vct 0.5) under ca fyra månader

## Utvärdering

Ur de tre-fyra senaste vikterna har lutningen utvärderats, se tabell I. Efter vägningarna i ovanstående diagram har ytterligare vägningar gjorts. Dessa har bekräftat att stationära flöden har erhållits. Korrelationskoefficienten är mycket nära 1.0.

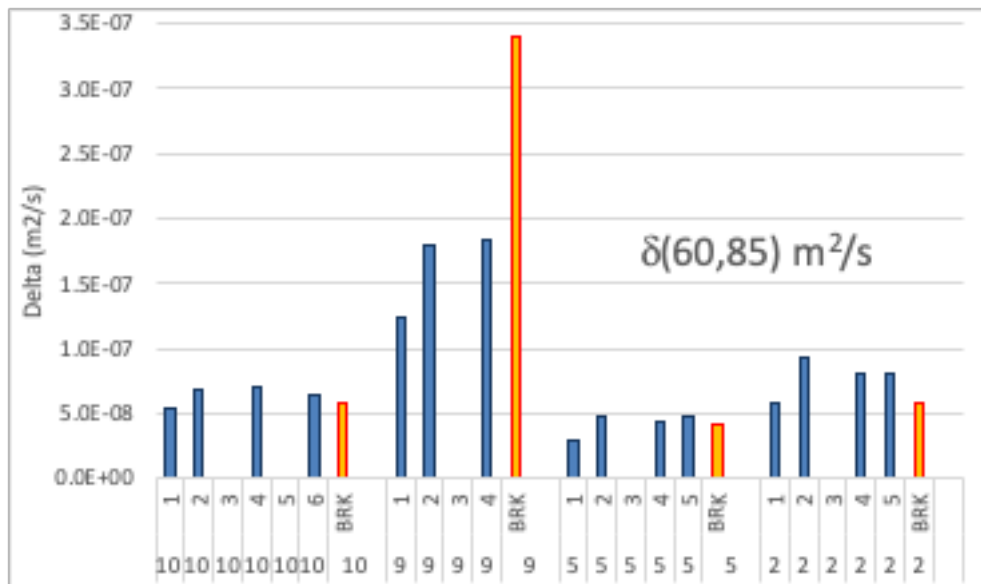
Lutningen hos den sista delen av viktändringskurvorna har omräknats till fuktflöden i gram per m<sup>2</sup> och sekund; diametern är 95 mm. Med respektive tjocklek och klimatet på ömse sidor om betongskivan kan sedan fukttransportkoefficienten  $\delta$  utvärderas. Resultatet redovisas i Tabell I.

Luftskiktet mellan den mättade saltlösningen och betongskivans underkant har ett visst fuktmotstånd som medför att RF på undersidan av betongskivan är något lägre än vad saltlösningen ger. Med de små fuktflöden som är aktuella här är emellertid denna effekt helt försumbar; RF kan vara högst 0.2 % RF lägre än 85 % RF.

**Tabell I** Kopparnas viktändring per tidsenhet under den senaste månaden och utvärderade fukttransportkoefficienter

Prov	Lutning	R <sup>2</sup>	Fuktflöde	Tjocklek	$\delta$
	gram/dygn		g/(m <sup>2</sup> s)	mm	(m <sup>2</sup> /s)
10.1	0.0049	0.9994	8.00E-06	29.6	5.5E-08
10.2	0.0065	0.9985	1.06E-05	28	6.9E-08
10.4	0.0061	0.9971	9.96E-06	30.2	7.0E-08
10.6	0.0056	0.9995	9.14E-06	30	6.3E-08
9.1	0.0120	0.9985	1.96E-05	27.5	1.2E-07
9.2	0.0155	0.9996	2.53E-05	30.5	1.8E-07
9.4	0.0159	0.9995	2.60E-05	30.5	1.8E-07
5.1	0.0026	0.9895	4.25E-06	30	2.9E-08
5.2	0.0041	0.9988	6.70E-06	30.4	4.7E-08
5.4	0.0038	1.0000	6.21E-06	31	4.4E-08
5.5	0.0040	0.9977	6.53E-06	31	4.7E-08
2.1	0.0051	0.9964	8.32E-06	30.1	5.8E-08
2.2	0.0083	0.9987	1.36E-05	29.5	9.2E-08
2.4	0.0070	1.0000	1.14E-05	30.3	8.0E-08
2.5	0.0069	0.9988	1.13E-05	31	8.1E-08

Fukttransportkoefficienterna för respektive betongskiva visas i nedanstående diagram. I detta har också fukttransportkoefficienterna från mätningarna med burkmetoden för de fyra betongerna lagts in. Observera att burkmetoden för betong 9, vct 0.5, har ett helt annat RF-intervall än övriga betonger.



Fuktransportkoefficienten  $\delta$  (m<sup>2</sup>/s) för de olika betongskivorna 1-6, i RF-intervallet (60,85) samt för betongen med burkmetoden (BRK), i olika RF-intervall, se texten.

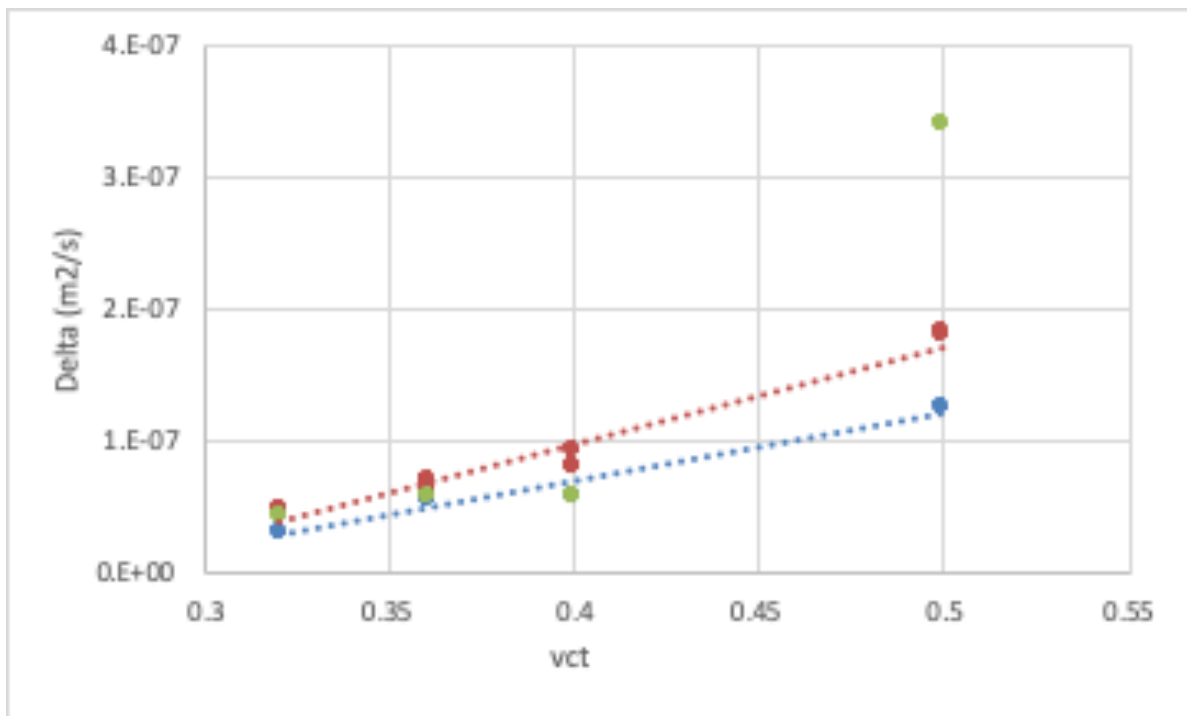
## Kommentar

De bestämda fuktransportkoefficienterna verkar vara av en rimlig storleksordning. Resultaten från koppmätningarna överensstämmer förvånansvärt väl med resultat från burkmetoden; för betongerna med de lägre vct stämmer det mycket bra trots att RF-intervallen inte är desamma. Olsson et al (2018) och Hedenblad (1993) visade att fuktberoendet är mycket litet då vct är cirka 0.4 eller lägre. Detta indikerar att burkmetoden kan vara en metod att snabbt få en uppfattning om en ny betongs fuktransportegenskaper.

För vct 0.5 (betong 9) erhöles  $3.4 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s med burkmetoden och  $1.2-1.8 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s med koppmetoden. Med burkmetoden var RF-intervallet dock annorlunda, 50-96 % RF, vilket naturligtvis ska ge ett högre värde på fuktransportkoefficienten. Hedenblad (1993) fick ca  $3 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s i intervallet 60-85 % RF. För betonger med vct lägre än 0.4 har vi inga tillförlitliga data att jämföra med.

Resultaten från koppmätningarna visar att betongernas ytskikt, ca 3 cm, är tätare än på större djup. Detta gäller för alla fyra betongerna. Det är förmodligen fuktransport i detta ytskikt som mest påverkar resultatet från en kortvarig mätning med burkmetoden.

Resultaten från koppmätningarna visas också i nedanstående diagram, här som funktion av vct för de fyra betongerna.



Bestämda fukttransportkoefficienter  $\delta$  (m<sup>2</sup>/s) för de fyra betongerna

- för det 30 mm tjocka ytskiktet (blå), i RF-intervallet (60, 85)
- för de 30 mm tjocka skikten på 30-150 mm djup (röda), i RF-intervallet (60, 85)
- från burkmätningarna, dvs för ytskikten (grön), i olika RF-intervall från 50 % RF till det som självuttorkningen gett, dvs ca 95 % RF för vct 0.5 och < 90 % RF för vct  $\leq$  0.4.



## Slutsatser

1. Burkmeteren verkar vara ett snabbt och enkelt sätt att bestämma fukttransportegenskaperna hos betong.
2. Metoden har verifierats mot koppmätningar och gett god överensstämmelse.
3. Metoden lämpar sig bäst för betong med låga vct eftersom den bara ger ett medelvärde i ett visst RF-intervall. Den kan inte ge ett RF-beroende utan att en serie mätningar genomförs.
4. Metoden mäter egenskaperna hos betongens ytskikt; denna är något tätare mot fukttransport än betong på större djup. Tjockleken hos ytskiktet beror på maximal stenstorlek.
5. Metoden lämpar sig inte för ung betong. Metoden kräver ett antal veckors mättid och ger ett medelvärde under mättiden. Betongen bör därför ha härdat minst en månad innan mätning påbörjas.
6. Utvärderingen kräver att RF efter självuttorkning bestäms strax innan mätning påbörjas. Det bör göras på en separat provkropp och inte i rör i burkmätningen. Att använda borrhålsmetoden enligt RBK kan ifrågasättas.
7. Betong i burken ska jämnas till och inte komma i direkt kontakt med locket, för att betongytan ska bli väl definierad. "Tjockleken" hos betongskiktet bestäms. Eventuellt kompakteras betongen med burken vänd med locket nedåt.
8. Burkbetongen ska härdas i konstant temperatur och torkning ska ske i ett konstant klimat med känd T & RF.
9. Första vägning sker direkt efter att locket avlägsnats. Vägningar därefter görs en eller två gånger per vecka; datum och klockslag noteras.
10. Metoden ger fukttransportegenskaperna i RF-intervallet mellan självuttorkning och det torkklimat som används. För låg-vct-betong kan extrapolering ske utanför detta RF-intervall.
11. Metoden ger fukttransportegenskaperna hos betongens ytskikt, < 30 mm.
12. Karbonatisering minskar viktändringen pga. fuktavgång, vilket medför att fukttransportkoefficienten underskattas, ett systematiskt fel; den kan vara ca 20 % större än vad metoden ger. En noggrannare bestämning kräver att man beaktar karbonatisering, t ex enligt Nilsson (2011).
13. Metoden innehåller ett antal felkällor som bidrar till mätosäkerheten. De största felkällorna bedöms vara RF-mätningen och uppskattning av fuktkapaciteten. Att betongen krymper något och en tunn spricka bildas mellan plåt och betong har försumbar effekt på uttorkningen, Åhs (2019).

## Referenser

- Crank, J. (1973) *The Mathematics of Diffusion*. Second edition, Oxford University Press
- Hedenblad, G. (1993) Moisture permeability of mature concrete, cement mortar and cement paste'. Rapport TVBM-1014, LTH-Byggnadsmaterial, Lund, 1993
- Kropp, J. (1983) *Karbonatisierung und Transportvorgänge in Zementstein*. Dissertation Universität Karlsruhe.
- Nilsson, L-O (1980) *Hygroscopic moisture in concrete. Drying, measurements and related material properties*. Rapport TVBM-1003, Avd. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola
- Nilsson, L.-O. (2011) *CO<sub>2</sub>-cycle in cement and concrete: Part 7: Models for CO<sub>2</sub>-absorption. A new model for CO<sub>2</sub>-absorption of concrete structures*. Rapport TVBM-3158, Avd. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola.
- 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 (2018) pp. 23–32.
- Åhs, M. (2019) *Simulering av uttorkning i betong med COMSOL Multiphysics*. Presentation vid Fuktcentrums Informationsdag Göteborg 2019-03-27.

Bilaga 1 Betongskivor



## Dimension och vikt hos betongskivorna

Betong	Skiva	Tjocklekar					medel	Anm.	Vikt (g)
10	1	31	29	29	490	30	29.6		490
	2	27.5	28.5		475		28		475
	3	9							
	4	30.2	30.2	30.2	520		30.2		520
	5	31							
	6	30	30	30	523		30	3 mm djup grop	523
	Totalt	158.7							
9	1	20	30	30	497		27.5		497
	2	31	30	31	522		30.5		522
	3	17							
	4	31	30	30.5	517	30	30.5		517
	5	17							
	6	32	31	32	559		31.5		559
	Totalt	148							
5	1	30	29.5	30.5	494		30	3 mm djupa gropar	494
	2	30	31	30.5	517		30.4		517
	3	25							
	4	31	31	31	517		31		517
	5	31	31	31	511		31		511
	6	14						botten	
	Totalt	161							
2	1	30.5	30	30	484		30.1	4 mm djupa gropar	484
	2	30	29	30	494		29.5		494
	3	30							
	4	30	30	31	506		30.3	3 mm djup grop	506
	5	30	31	32	519		31	kantflisa av	519
	6	8						botten	
	Totalt	158.5							