



Att beräkna uttorkning och mäta relativ fuktighet i betong – möjligheter och utmaningar

MAGNUS ÅHS OCH PETER JOHANSSON, AVD. BYGGNADSMATERIAL



Vad behövs för att räkna på uttorkning?

- Materialets fuktegenskaper
 - Kemiskt bundet vatten
 - Fysikaliskt bundet vatten (sorptionsisotermen)
 - Transportegenskaper
- Omgivande klimat (fukt, temperatur)
- En modell – matematisk beskrivning
- Vilka parametrar kan variera?

Uttorkning – vad är viktigt?

- **Självuttorkning** - kemisk och fysikalisk bindning
 - Materialets fuktbindning
 - Bindemedlets kemiska sammansättning och reaktivitet

- **Diffusionsuttorkning** – hur mycket torkar ut mot omgivningen?
 - Materialets fukttransportkoefficient (täthet)
 - Omgivningens klimat (luftfuktighet och temperatur)
 - Konstruktionens tjocklek/utförning

- Fokus på betydelsen av
 - **Kemisk bindning**
 - **Fukttransportkoefficient (täthet)**
 - **Omgivningens klimat (luftfuktighet och temperatur)**

Betongkvalitet/Materialparametrar

- **Beräkningar har skett med en betong med**
 - Vct 0.45
 - 400 kg cement/m³
 - 180 kg vatten/m³
 - Klimat, T=20 °C och olika RF

- **Fukttransportförmåga (täthet) enligt data från referenser (tidsberoende¹)**
 - O. Linderoth och P. Johansson, 2019 (OL)
 - M. Stelmarczyk et al., 2019 (MS)
 - L.-O. Nilsson, 2019 (LON)

- **Kemisk bindning antagna data**

- **Jämviktsfuktkurva (sorptionsisoterm) (tidsberoende¹)**

1. J.-E. Jonasson, et al. "Modell för beräkning av fuktighet i moderna betonger vid variabel temperatur" Bygg & teknik nr 5 2007, s 36-41

Modell

Modell för beräkning av fuktighet i moderna betonger vid variabel temperatur

Att känna till vilken fuktighet man har i en betongkonstruktion är viktigt inom flera ingångsområden. Exempelvis kan för olika fuktigheter olika prestanda förväntas med en del andra material som används "på plats". Vidare är fuktighetsförändringarna för vilken för framtida iakttagelse. För låga fuktighetsnivåer eller för stora fuktighetsförändringar kan i vissa konstruktioner ge så stora fuktspänningar att det uppstår sprickor i betongen. Detta är särskilt viktigt för betong i konstruktioner som används för att bära laster och där sprickor kan ge stora konsekvenser för säkerheten och utsläppen av gaser och utsläpp i betong. Samtidigt är det viktigt att man inte får för stora sprickor i betong som kan ge stora konsekvenser för säkerheten och utsläppen av gaser och utsläpp i betong.

Den här boken och dess tillhörande CD-ROM innehåller en modell för beräkning av fuktighet i betong vid variabel temperatur. Den innehåller också en modell för beräkning av fuktspänningar i betong vid variabel temperatur. Den innehåller också en modell för beräkning av fuktspänningar i betong vid variabel temperatur.

Figur 1. Jämförelse av fuktighet i härdad betong vid olika temperaturer.

DOCTORAL THESIS
DIVISION OF STRUCTURAL ENGINEERING

1994:153 D
ISSN 0548 - 8375
ISBN HJ-79-1-153-D-02

Modelling of Temperature, Moisture and Stresses in Young Concrete

JAN-ERIK JONASSON

TEKNISKA HOGSKOLAN I LULEÅ
LULEÅ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

1. J.-E. Jonasson, et al. "Modell för beräkning av fuktighet i moderna betonger vid variabel temperatur" Bygg & teknik nr 5 2007, s 36-41

Spridning kemisk bindning

- Cementets kemiska fuktbindningsförmåga varierar med $\pm 5\%$ ¹ från 0.25g vatten/gram bindemedel

A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials

Edited by
Karen Scrivener, Ruben Snellings, and Barbara Lothenbach

CRC Press

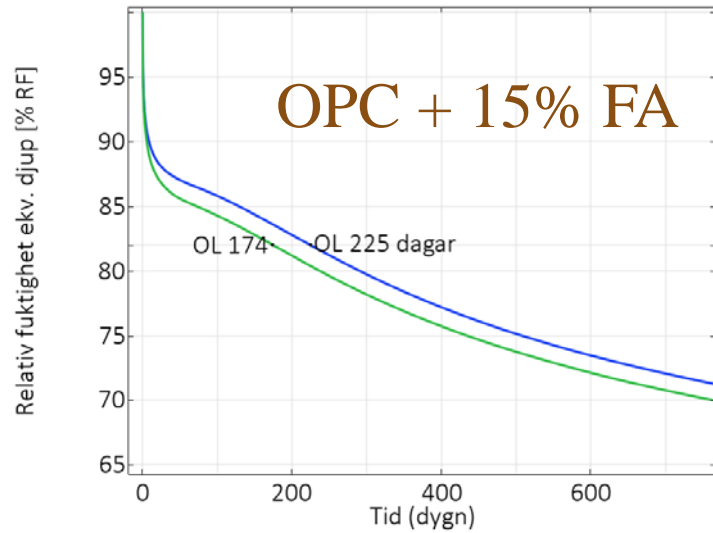
1. B. Lothenbach et al. "A practical guide to microstructural analysis of cementitious materials", chapter 5, Thermogravimetric analysis, s 198, 2016

Dubbelsidig uttorkning av 200 mm bjälklag

Antagande:

Låt kemisk bindning av fukt variera $\pm 5\%$

2 månaders skillnad i uttorkningstid!



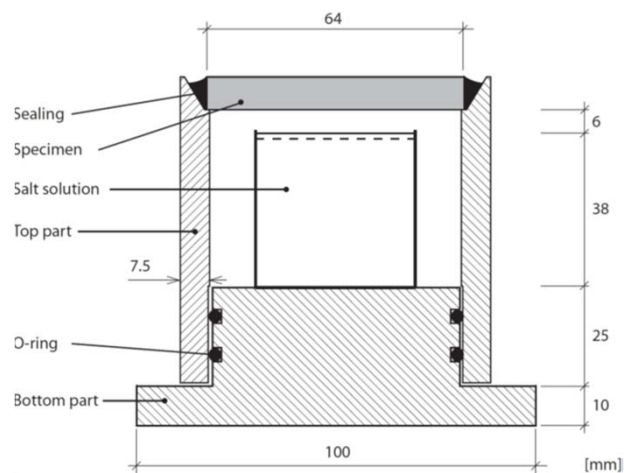
”Koppmetoden” metodbeskrivning

Ett prov sätts mellan två olika klimat.

Flödet bestäms genom att mäta viktförändringen.

Flödets storlek är ett mått på tätheten.

Ju större flöde ju otätare material.

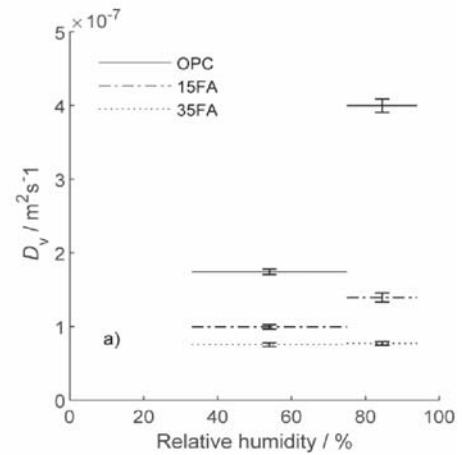


”Koppmetoden” spridning

Betong basement (LON)



Bruk med basement (OL)

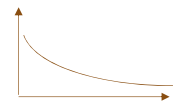


1. O. Linderöth och P. Johansson, "Fuktegenskaper hos cementbundet material med flygaskainblandning" Bygg och teknik Nr 7, 2019, s 8-11
2. L.-O. Nilsson, "BURKMETODEN – för bestämning av fuktransportegenskaper hos betong", Rapport 1922, 2019
3. M. Åhs 2011
4. N. Olsson 2018
5. M. Saadipour 2015

M.S. et al. metodbeskrivning



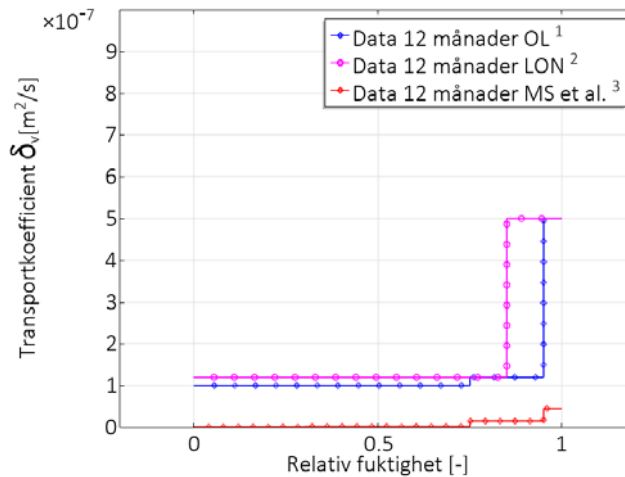
1. 'Anpassningen baserade sig på approximation av materialet i sorptionsvägen med en uppsättning av sfärer.'
2. 'Sfärens storleksfördelning uppskattades först från förstorade bilder av materialet.'



3. 'Varje sfärs fuktillstånd modellerades genom analytisk lösning till massflödesekvationen i sfäriska koordinater med konstant startvärde, låst randvärde, och konstant transportkoefficient samt fuktkapacitet på RF-intervallet.'
4. 'Summan av sfärens viktförändringar subtraherades från det uppmätta förloppet och bildade en felfunktion som sedan optimerades m.a.p. transportkoefficienten.'
5. 'Slutligen anpassades en geometrisk korrektionskoefficient till tidigare erhållna transportkurvor så att ballastens inverkan korrigerades. Detta skedde genom en endimensionell simulering av icke isotermiskt fuktflöde kombinerat med simulering av värmefflöde för ett antal uttorkningsmätningar'

1. M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, " Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong samt Inmätning av Basement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong", SBUF Rapport ID: 13197 & 13198 version 2.04 daterad 2019-05-10

Fuktransportkoefficient data



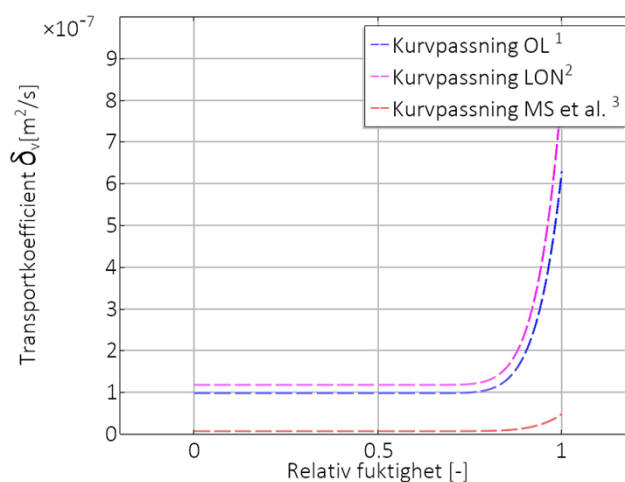
OPC+ FA (15 %), OL¹

OPC+FA (7-10 %), LON²

OPC+FA (7-10 %), MS³

1. O. Linderoth och P. Johansson, "Fuktegenskaper hos cementbundet material med flygaskainblandning" Bygg och teknik Nr 7 2019 s 8-11
2. L.-O. Nilsson, "BURKMETODEN – för bestämning av fuktransportegenskaper hos betong", Rapport 1922
3. Data från M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, " Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong samt Inmätning av Basement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong", SBUF Rapport ID: 13197 & 13198 daterad 2019-05-10

Fuktransportkoefficient anpassad kurva



OPC+ FA (15 %), OL¹

OPC+FA (7-10 %), LON²

OPC+FA (7-10 %), MS³

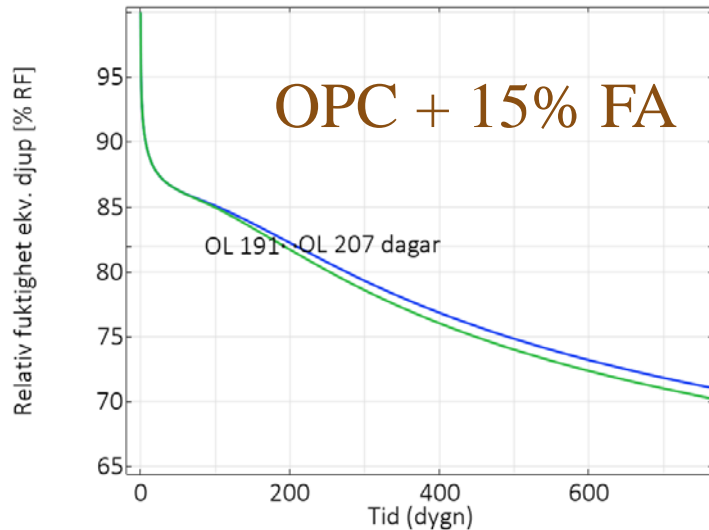
1. O. Linderoth och P. Johansson, "Fuktegenskaper hos cementbundet material med flygaskainblandning" Bygg och teknik Nr 7 2019 s 8-11
2. L.-O. Nilsson, "BURKMETODEN – för bestämning av fuktransportegenskaper hos betong", Rapport 1922
3. Data från M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, " Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong samt Inmätning av Basement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong", SBUF Rapport ID: 13197 & 13198 daterad 2019-05-10

Dubbelsidig uttorkning av 200 mm bjälklag

Antagande:

Låt fukttransportförmågan (tätheten) variera $\pm 5\%$

2 veckors skillnad i uttorkningstid

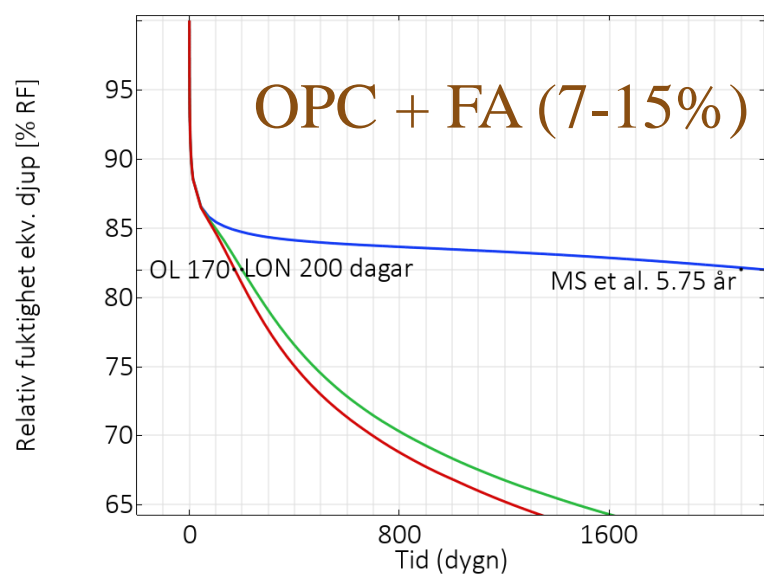


Dubbelsidig uttorkning av 200 mm bjälklag

Antagande

Täthet enligt OL, LON, MS et al.

5 år och 3 månaders skillnad i uttorkningstid!



Dubbelsidig uttorkning av 200 mm bjälklag

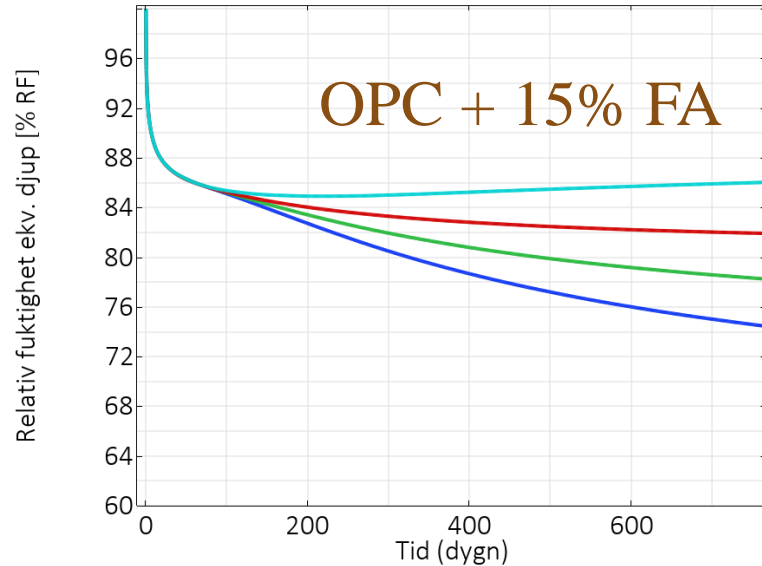
Antagande

Luftfuktighet i omgivning
60-70-80-90 % RF

60%-70% => 2 månader

70%-80% => 10 månader

80%-90% => torkar inte alls



Slutsats

- Betong med Bascement (OPC-FA) diffusionstorkar
- Nödvändig data för uttorkningsberäkningar
 1. Transportegenskaper
 - validerad mät- och utvärderingsmetod
 2. Omgivande RF och temperatur
 3. Kemisk bindning
- Nya mätmetoder och modeller måste valideras