



# LUND UNIVERSITY

## Täckskiktskrav i exponeringsklasserna XC3 och XC4 för betong med låga vattencementtal

Nilsson, Lars-Olof

2010

[Link to publication](#)

### *Citation for published version (APA):*

Nilsson, L.-O. (2010). *Täckskiktskrav i exponeringsklasserna XC3 och XC4 för betong med låga vattencementtal*. (Rapport TVBM (intern 7000-rapport); Vol. 7205). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

### *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

# **Täckskiktskrav i exponerings- klasserna XC3 och XC4 för betong med låga vattencementtal**

Lars-Olof Nilsson

ISRN: LUTVDG/TVBM--10/7205--SE (1-13)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola  
Byggnadsmaterial  
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415  
Fax: 046-2224427  
[www.byggnadsmaterial.lth.se](http://www.byggnadsmaterial.lth.se)

## Innehållsförteckning

Bakgrund .....	5
Täckskiktsstandarden .....	5
Upplägg .....	5
Karboniseringsmodell .....	5
Inverkan av lägre vct och härdning .....	9
Inverkan av bindemedel med filler.....	11
Inverkan av ökad koldioxidkoncentration.....	12
Kommentar .....	12
Tack.....	12
Referenser.....	13



## Bakgrund

Den svenska täcksiktstandard SS137010 togs fram år 2002 och baseras på den kunskap och de förhållanden som gällde då, t ex dåtidens bindemedel, vanliga betongkvaliteter etc. För karbonatiseringsinitierad armeringskorrosion finns det nu ett intresse för att utvidga täcksiktstandard till betonger med större karbonatiseringsmotstånd och därigenom kunna minska täcksikten alternativt förlänga livslängdsklassen.

På förekommen anledning görs i denna rapport en ”extrapolering” av täcksiktstabellen enligt SS137010 för de båda exponeringsklasser som är mest intressanta för karbonatiseringsinitierad korrosion, XC3 och XC4.

## Täcksiktstandard

I SS137010 anges följande täcksiktkrav i de båda aktuella exponeringsklasserna:

Tabell I. Täcksiktkrav i XC3 och XC4 enligt SS137010

Exponeringsklass	Max $v_{ct_{ekv}}$	Minsta täckande betongskikt (mm)		
		i L 100	i L 50	i L 20
XC3, XC4	0,55	25	20	15
	0,50	20	15	10

Begreppet ” $v_{ct_{ekv}}$ ” tolkas här som det vattencementtal man har i en ren Portlandcementbetong. Inverkan av vissa andra bindemedel kommenteras sist i rapporten.

## Upplägg

Extrapoleringen har gjorts på följande principiella vis. En traditionell karbonatiseringsmodell har ”kalibrerats” mot värdena i täcksiktstandard för de båda vattencementtal som ingår i denna. Modellen har sedan helt enkelt använts för att beräkna karbonatiseringsdjupen för några lägre  $v_{ct}$  och ur dessa har täcksiktkrav föreslagits. Effekten av andra bindemedel än Portlandcement uppskattas sedan, med samma modell.

## Karbonatiseringsmodell

Traditionella karbonatiseringsmodeller baseras på följande antaganden.

1. Karbonatisering beskrivs som en karbonatiseringsfront som förflyttar sig inåt, se figur 1.
2. Frontens rörelse beror på den kombinerade effekten av 1) diffusion av koldioxid  $CO_2$  genom det redan karbonatiserade skiktet och 2) kemisk ”bindning” av  $CO_2$  vid fronten genom karbonatiseringsreaktionen.
3. Mängden  $CO_2$  som binds per  $m^3$  betong kvantifieras i modellen.
4. Mängden  $CO_2$  som binds per kg bindemedel är inte nödvändigtvis en konstant för ett speciellt bindemedel. Så t ex borde hydratationsgraden och fuktnivån kvantifieras.
5. Betongen modelleras som homogen, dvs. den större bindemedelshalten nära en gjutytta försummas. Detta innebär en överskattning av karbonatiseringsdjupet.

6. All kalciumoxid CaO antas vara "geometriskt fixerad", dvs diffusion eller konvektion av  $\text{Ca}^{2+}$ - och  $\text{OH}^-$ -joner beaktas inte.
7. Bindningskapaciteten för  $\text{CO}_2$  sätts till noll hos det karbonatiserade skiktet, dvs. diffusion av koldioxid modelleras som en stegvis stationär process.
8. Diffusionskoefficienten för  $\text{CO}_2$  för en speciell betong bör beskrivas som en funktion av hydratationsgrad och fuktnivå.
9. Frigörelse av vatten från karbonatiseringsreaktionen försummas; höjningen av fuktnivån antas vara liten.

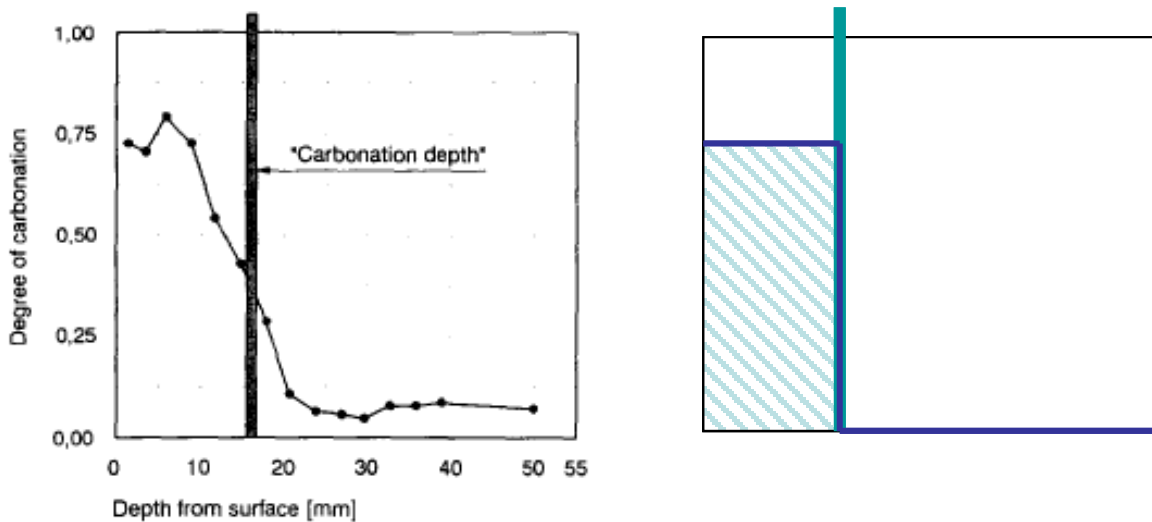


Fig. 1 Verklig (till vänster) karbonatiseringsprofil, Möller (1994), och motsvarande  $\text{CO}_3$ -profil med en karbonatiseringsfront i en traditionell modell (till höger)

Med ovanstående antaganden kan en enkel karbonatiseringsmodell härledas från figur 2.

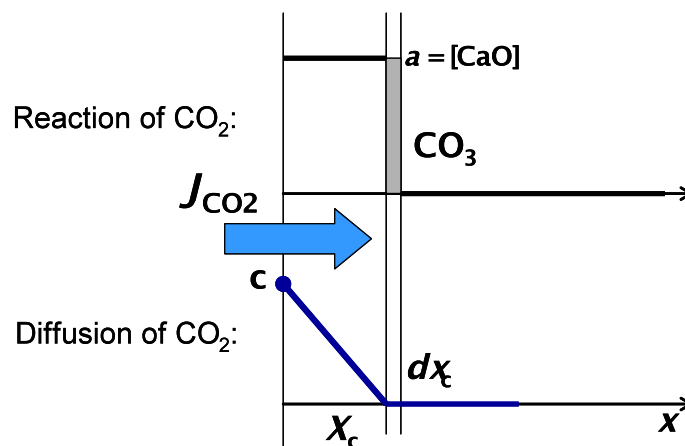


Fig. 2 En enkel karbonatiseringsmodell, baserad på antagandena 1-9

Den diffunderande mängden  $\text{CO}_2$  beskrivs med Fick's 1:a lag, enligt ekvation (1)

$$J_{\text{CO}_2} = -D_{\text{CO}_2}(RF, \alpha) \frac{dc}{dx} = \frac{c}{R_{\text{CO}_2}} \quad (1)$$

där diffusionskoefficienten beror på relativ fuktighet  $RF$  och hydratationsgrad i det karbonatiserade skiktet. Koncentrationsskillnaden över det karbonatiserade skiktet, med tjockleken  $X_{CO_3}$ , är  $\Delta c = c - 0 = c$ , dvs koncentrationen av  $CO_2$  i luften. Karbonatiseringsmotståndet hos det karbonatiserade skiktet är  $R_{CO_2}$ , som ges av

$$R_{CO_2} = \int_{x=0}^{x=X_{CO_3}} \frac{dx}{D_{CO_2}(RF(x), \alpha(x))} \quad (2)$$

Mängden  $CO_2$  som behövs för att karbonatisera en  $m^3$  betong är

$$a(x) = C \cdot \frac{CaO}{C} \cdot \frac{(CaO)_{CO_3}}{CaO}(x) \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{CaO}} \quad [\text{kg } CO_2/m^3] \quad (3)$$

där  $C$  är cementhalten i betongen,  $CaO/C$  är bindemedlets  $CaO$ -innehåll per kg cement,  $(CaO)_{CO_3}/CaO$  är "karbonatiseringsgraden" och  $M$  är molvikten. Erforderlig mängd koldioxid per  $m^3$  betong  $a(x)$  anges vara beroende på djupet, eftersom både hydratationsgraden och karbonatiseringsgraden kan variera med djupet.

I modellen i figur 2 blir massbalansen för  $CO_2$  vid karbonatiseringsfronten  $X_{CO_3}$  enligt ekvation (4)

$$J_{CO_2} \cdot dt = a(X_{CO_3}) \cdot dX_{CO_3} \quad [\text{kg } CO_2/m^2] \quad (4)$$

där  $dt$  är ett kort tidssteg [s] då karbonatiseringsfronten förflyttar sig ett stycke  $dX_{CO_3}$  [m]. Detta kan också skrivas

$$\frac{dX_{CO_3}}{dt} = \frac{J_{CO_2}}{a(X_{CO_3})} = \frac{c}{R_{CO_2} \cdot a(X_{CO_3})} \quad (5)$$

Efter integration blir karbonatiseringsdjupet

$$X_{CO_3} = \int_{x=0}^{x=X_{CO_3}} dX_{CO_3} = \int_{t'=0}^{t'=t} \frac{c}{a(X_{CO_3}(t)) \cdot \int_{x=0}^{x=X_{CO_3}} \frac{dx}{D_{CO_2}(RF(x), \alpha(x))}} \quad (6)$$

"Problemet" med denna modell är att karbonatiseringsdjupet  $X_{CO_3}$  finns på båda sidor om likhetstecknet! Ekvationen måste alltså lösas numeriskt eller måste en förenkling göras.

Om fuktnivån  $RF$ , hydratationsgraden  $\alpha$  och mängden  $a$  [ $CO_2/m^3$ ] antas vara konstanta med djupet blir karbonatiseringsmodellen enkel, se ekvation (7).

$$X_{CO_3} = \sqrt{\frac{2D_{CO_2}(RF) \cdot c}{a_{CO_2}(RF)}} \cdot \sqrt{t} \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^n \quad (7)$$

där exponenten  $n$  beror på fuktförhållandena och är  $\approx 0$  vid fuktnivåer som är mest relevanta för armeringskorrosion hos konstruktioner som är skyddade mot regn och höga  $RF$ -nivåer.



Diffusionskoefficienten kan kvantifieras från ekvation (8), baserad på kalibrering mot gamla tyska cement, Wierig (1964)

$$D_{CO_2} = B \cdot C \cdot \varepsilon^{4.5} \cdot \left(1 - (RF(x))^{10}\right)^5 \quad (8)$$

där  $C$  är cementhalten,  $\varepsilon$  är kapillärporositeten,  $B$  är en konstant och parenteserna ger fuktnivåberoendet.

Kapillärporositeten beräknas kapillärporositeten hos cementpastan

$$\varepsilon = \frac{vct - 0.39\alpha}{0.32 + vct} \quad (9)$$

Genom ytterligare antaganden kan karbonatiseringsmodellen starkt förenklas genom att kombinera ekvationerna (3) och (8) med ekvation (7)

$$X_{CO_3} = \sqrt{\frac{B^* \cdot \varepsilon^{4.5}}{\alpha}} \cdot \sqrt{t} \quad (10)$$

där den nya konstanten  $B^*$  nu inkluderar konstanterna i ekvation (3) och (8) samt konstanten  $B$ . Karbonatiseringsgraden har satts lika med hydratationsgraden  $\alpha$ , dvs. all hydratiserad CaO antas kunna karbonatiseras. Detta stämmer bra med mätningar som finns, se t ex Möller (1994).

Enligt denna modell skulle karbonatiseringsdjupet inte påverkas direkt av cementhalten, som ”dividerades bort”, utan en ändrad cementhalt har en inverkan främst genom kapillärporositeten. Hydratationsgraden har stor betydelse i denna modell, genom att den ingår både i kapillärporositeten och i karbonatiseringsgraden. Härdningen har därför stor betydelse.

Modellen enligt ekvation (10) prövas mot täckskiktstabellen, tabell I, se tabell II och figur 3.

Tabell II. Beräknade karbonatiseringsdjup med modellen för välhärdade betonger med  $vct = 0.55$  respektive  $0.50$  om modellen passas till täckskiktskraven vid 100 års exponering

Exponent=	4.5			Karbonatiseringsdjup (mm)		
B* =	4.80E-05			tid (år)		
Btg	vct	alfa	Pkap	100	50	20
1	0.55	0.79	0.28	24.6	17.4	11.0
2	0.50	0.75	0.25	20.4	14.4	9.1

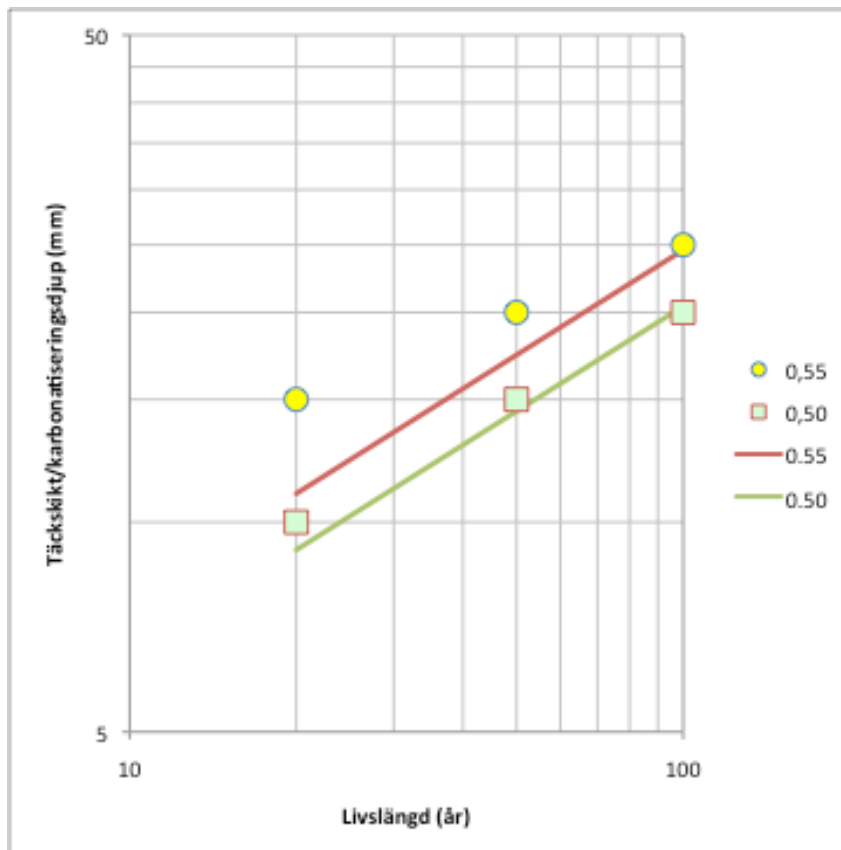


Fig. 3 Beräkning av karbonatiseringsdjup enligt modellen i ekvation (10) om  $B^*$  passas mot täckskiktstaben för livslängdsklass L100.

Passningen går bra att göra med den aktuella modellen vid 100 års livslängd, det finns ju två parametrar och bara två punkter(!). Att det finns en avvikelse för kortare livslängd beror helt enkelt på att karbonatiseringsmodellen innehåller exponeringstiden upphöjt till 0,5, vilket ger en lutning på  $\frac{1}{2}$  i det dubbellogaritmiska diagrammet i figur 3. Värdena i täckskiktstabeln stämmer inte med detta utan har antagligen valts för att vara jämna multiplar av 5 mm.

I passningen har en välhärdad betong valts, dvs höga hydratationsgrader på 0,75-0,80 har antagits. Det är vad man kan förvänta sig i sådana betonger om de håller en fuktnivå på över 80-85 % RF. Betong som är torrare än så karbonatiserar fortare och armeringen kan korrodera om den då och då utsätts för högre fuktnivåer, dvs har en exponering som motsvarar exponeringsklasserna XC3 och XC4.

I nästa avsnitt görs en bedömning av hur sämre härdning skulle inverka på täckskiktstaben.

## Inverkan av lägre vct och härdning

Om betong med lägre vct väljs borde naturligtvis täckskiktet kunna minskas eftersom kapillärporositeten då minskar, jfr. ekvation (9). Kapillärporositeten påverkas dock också av hydratationsgraden, dvs av härdningen.

För stora täckskikt är inverkan av härdning inte så stor genom att härdningen främst påverkar de yttre delarna av täckskiktet. För små täckskikt spelar härdningen större roll genom att en

stor del av täcksiktet kan vara sämre härdat. Härdningens inverkan demonstreras i nedanstående två diagram för vct 0.45 respektive 0.40, för några olika hydratationsgrader.

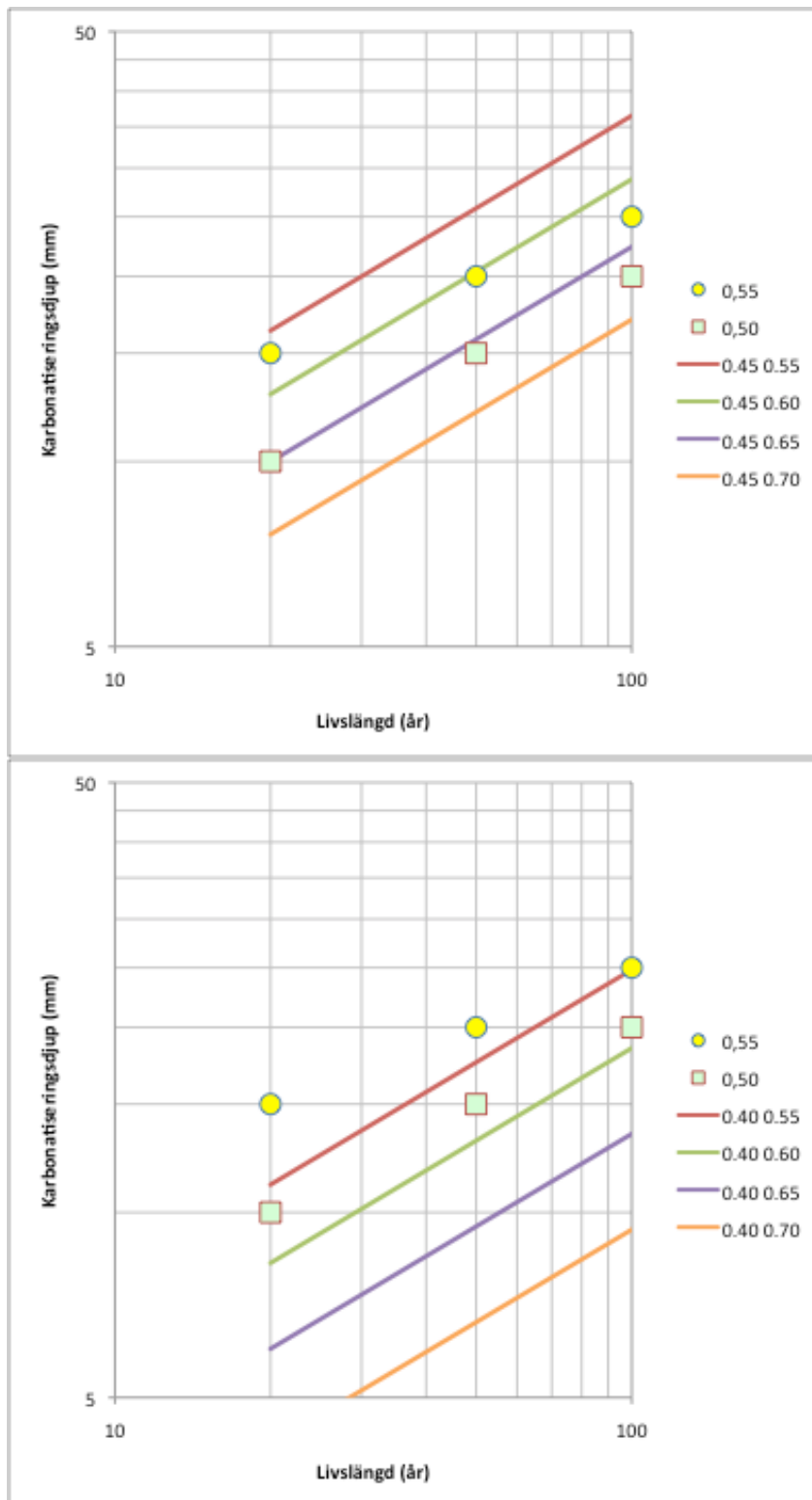


Fig. 4. Inverkan av härdning, som hydratationsgrad 0.55-0.70, på karboniseringsdjup för betonger med vct 0.45 (upptill) respektive 0.40 (nedtill).

Slutsatsen är att det är mycket viktigare att hålla reda på vilken hydratationsgrad man verkligen har då man använder lägre vattencementtal och tunnare täckskikt. Hela effekten av lägre vct kan gå förlorad om man inte uppnår en hydratationsgrad av  $>0.65$  eller  $>0.60$  för vct = 0.45 respektive 0.40. Det krävs alltså större hydratationsgrader än så för att karbonatiseringsdjupet skall kunna minskas.

Norling-Mjörnell (1997) redovisar hydratationsgrader för betong med vct 0.40 och olika cement, Slite Std och Degerhamn Anläggningscement. Med membranhärdning anges 0.65-0.70 efter något år. RF har då sjunkit till 85 – 90 % på grund av självuttorkning, dvs i nivå med eller strax över vad man har utomhus i konstruktioner som skyddas mot regn. I nedre delen av figur 4, för vct 0.40, ger detta karbonatiseringsdjup på 10-15 mm efter 100 år.

## Inverkan av bindemedel med filler

I många moderna cement är Portlandcementet till viss del ersatt med filler eller tillsatsmaterial, t ex flygaska, slagg eller kiselstoft. Tillsats av mer eller mindre inert filler blir, ur karboniseringsynpunkt, en ren ”utspädning”. Mängden cement blir mindre, och därmed ekvivalent vct och kapillärporositeten, och mängden karboniseringsbar kalk (CaO) blir mindre. Med puzzolaner som delvis ersätter cementet omvandlas en del av kalken till kalciumsilikathydrater, men dessa är också karboniseringsbara. Däremot kan kapillärporositeten påverkas och därmed diffusionskoefficienten för koldioxid. Detta har inte studerats i någon större utsträckning och är inte relevant här.

Inblandning av filler är däremot aktuellt eftersom det svenska Byggcementet kan innehålla upp till 15-20 % kalkstensfiller. Effekten av detta, om man betraktar det som en ren ”utspädning”, blir dels att mängden cement, och därmed mängd karboniseringsbar kalk, minskar och dels att det egentliga vattencementtalet, och därmed kapillärporositeten, ökar. I karboniseringsmodellen, ekvation (10), ingår inte cementhalten, som påpekats ovan. Modellen säger att både mängden karboniseringsbar kalk och diffusionskoefficienten i ekvation (8) är linjärt proportionella mot cementmängden, som fanns både i täljare och nämnare. Detta skulle då inte påverka karboniseringsdjupet.

Däremot inverkar en utspädning av cementet på vattencementtalet och därigenom på kapillärporositeten  $\varepsilon$ , se ekvation (9). En minskning av cementhalten ger följande förändringar:

- högre vattencementtal
- högre kapillärporositet, jfr. ekv. (9),
- större diffusionskoefficient, jfr. ekv. (8),
- större karboniseringsdjup, jfr. ekv. (10).

Insättning av värden i karboniseringsmodellen (10) ger en ökning av karboniseringsdjupet enligt figur 5.

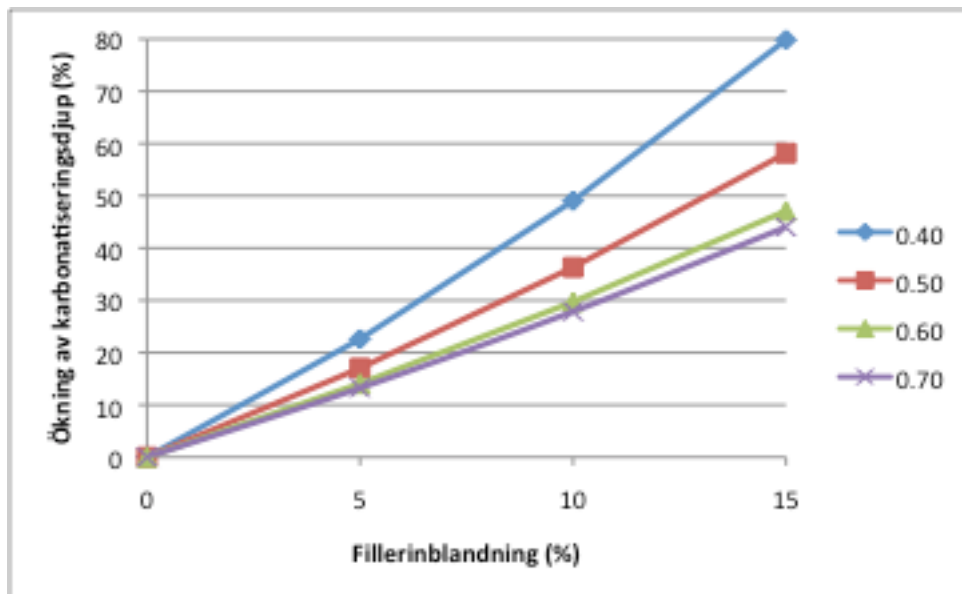


Fig. 5. Inverkan av fillerinblandning på karbonatiseringsdjup, för olika ursprungliga vct.

Effekten av fillerinblandning är mycket stor! Denna effekt måste beaktas, dvs korrigering för typen av bindemedel måste göras då man använder täcksiktstandard.

## Inverkan av ökad koldioxidkoncentration

Koldioxidkoncentrationen som använts i modellen ovan motsvarar 0.03 vol-%. Den är högre idag och vi måste räkna med att den blir än högre i framtiden. En koncentration på 0.04 vol-% ökar karbonatiseringsdjupet, om dessa värden används i modellen, med en faktor  $\sqrt{4/3}$ , dvs 15 %.

## Kommentar

Täckskiktstjockleken med avseende på karbonatisering skall mätas från betongytan till stålet. Då måste hänsyn tas till förekomsten av eventuella luftblåsor. Dessa har naturligtvis större betydelse ju tunnare täcksiktet är.

Till karbonatiseringsdjupet skall en viss tolerans läggas. I täcksiktstandard är denna 10 mm.

Ovanstående bedömningar grundar sig på de modeller som finns i litteraturen. Dessa är relativt åldersstigna och har ett begränsat underlag och borde naturligtvis uppdateras. Egenskaperna hos nya cement och bindemedel som behövs i modellerna saknas.

## Tack

Tack till prof.em. Göran Fagerlund för konstruktiva diskussioner.

## Referenser

CEB (1997): *New Approach to Durability Design*, CEB Bulletin No 238, Lausanne

Möller, J. (1994) *Measurement of carbonation in cement-based materials*.  
Licentiatavhandling P-93:11, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, mars 1994

Nilsson, L.-O. & Rodhe, M. (1997a) *Micro-level Design*, Sections 4.4.1- 4.4.6 of *New Approach to Durability Design*, CEB Bulletin No 238, Lausanne

Nilsson, L.-O. & Rodhe, M. (1997b) *The CTH Carbonation Model - A Micro-level Model for Carbonation in a Natural Climate*. Appendix 2 av *New Approach to Durability Design*, CEB Bulletin No 238

Nilsson, L.-O. (2004): *Livslängden hos nya årstabron. Inverkan av härddningen, täcksiktstjockleken samt om salt påförs. Verifiering och deklaration av den utförda bronslivslängd*. Internrapport 2004-3, Swetec, Markaryd

Norling-Mjörnell, K. (1997): *Moisture conditions in high performance concrete*.  
Doktorsavhandling P-96:6, inst f byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, december 1997.

Wierig, H.-J. (1984). *Long-time studies on the carbonation under normal outdoor exposure*.  
Proceedings of RILEM Seminar on the Durability of Concrete Structures Under Normal Outdoor Exposure, Hannover March 1984.