



# LUND UNIVERSITY

## Karbonatisering i lättklinkerbetong

### En fältstudie

Fridh, Katja

2016

*Document Version:*  
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Fridh, K. (2016). *Karbonatisering i lättklinkerbetong: En fältstudie*. (TVBM-7000). 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

# **Karbonatisering i lättklinkerbetong – en fältstudie**

Avd Byggnadsmaterial, LTH

Katja Fridh  
TVBM-7219

## Sammanfattning

Karbonatisering i tre kvaliteter av lättklinkerbetong (311, 321, 330) har studerats under 4,5 år. Syftet med studien var att bestämma karbonatiseringshastigheten hos lättklinkerbetongen. Målet för studien var att försöka avgöra om det är lämpligt att göra fasadelement (av dessa lättklinkerbetongkvaliteter) med tjockleken 70 mm (täcksikt 35 mm) armerade med icke rostskyddad armering och tro att deras livslängd är minst 50 år. Lättklinkerbetongkvaliteterna skiljer sig främst åt med avseende på cementhalt, kalkfillerhalt och mängd fingrus. Provkroppar har exponerats för luftens koldioxid både inomhus och utomhus. Utomhus var proverna både utsatta för regn och skyddade mot regn. Vissa prover var putsade, vissa var gjutna mot cellplast och andra bestod enbart av lättklinkerbetong. Karbonatiseringsdjup uppmättes genom att fenolftalein applicerades på spräckta ytor vid fem olika tidpunkter för de utomhusexponerade proverna och vid två tidpunkter för proverna inomhus. Mätningarna fann att kvalitet 321 uppvisade en karbonatiseringshastighet vilket borde ge en livslängd mot karbonatiseringsinitierad armeringskorrosion på 50 år för en fasadskiva med tjocklek 70 mm och armeringen placerad i mitten. Mätningarna fann också att 3-sikts putsning av prover fördröjde karbonatiseringen markant och att sidor mot cellplast inte karbonatiserade över huvud taget.

## 1. Introduktion

### 1.1 Uppdraget

Avdelningen för Byggnadsmaterial vid LTH har fått uppdraget att studera karbonatiseringshastigheten hos tre kvaliteter av lättklinkerbetong för att försöka avgöra huruvida materialet är lämpligt som en putsbärare i en fasadkonstruktion armerad med obehandlat armeringsstål. Målet för uppdraget är att försöka avgöra om karbonatiseringsfronten når armeringsjärnen under fasadens livstid som sätts till 50 år. Skivorna kommer att ha tjockleken 70 mm och järnen kommer att placeras i mitten vilket innebär att karbonatiseringsdjupet inte får bli mer än 35 mm på 50 år. Om karbonatiseringen går fortare bör konstruktionen förses med rostskyddsbehandlad armering.

### 1.2 Karbonatisering

Då ett cementbundet material kommer i kontakt med koldioxid ( $\text{CO}_2$ ) vill kalcium (företrädesvis i formen kalciumhydroxid,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  men inte enbart) bilda kalciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  uppstår när cementklinkerkomponenterna  $\text{C}_3\text{S}$  och  $\text{C}_2\text{S}$  reagerar med vatten. Karbonatiseringen kan förenklas till tre steg och betydelsen av fuktinnehållet blir tydligt:

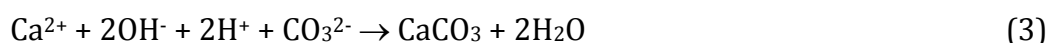
1. Kalciumhydroxiden löses i porvattnet



2. Koldioxiden löser sig i porvattnet



3. Kalciumkarbonat bildas



Karbonatisering leder till att pH sänks i betongen och armeringens passivering upphör och korrosion uppstår. Andra klinkerkomponenter i ett portlandklinkercement (som t.ex.  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_4\text{AF}$  och  $\text{C}_3\text{A}$ ) och cementreaktionsprodukter som C-S-H-gel innehåller också kalcium och dessa kan i rätt miljö karbonatisera men då de är mindre lösliga än  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bidrar dessa i mindre omfattning. Innehåller cementsorten även tillsatsmaterial som slagg och flygaska så innehåller slutprodukten också mindre  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  då tillsatsmaterialen reagerar med kalciumhydroxiden. Ersätts en del av portlandcementet med kalkstensfiller bildas också mindre  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Men rena och nästan rena portlandcement system innehåller mycket kalciumhydroxid och karbonatiseringen går därför långsamt.

### 1.3 Karbonatisering över tid

Karbonatiseringsförloppet modelleras som en frontinträngning med ett roten ur tiden beroende där koncentrationen av koldioxid är maximal vid ytan och noll vid fronten

$$x_{\text{CO}_2} = k \cdot \sqrt{t} \quad (4)$$

Materialkoefficienten  $k$  har i (Nilsson, 2011) presenterats som

$$x_{CO_2} = \sqrt{\frac{2 \cdot D_{CO_2} \cdot c}{a}} \cdot \sqrt{t} \quad (5)$$

Karbonatiseringsdjupet  $x_{CO_2}$  är beroende av diffusionskoefficienten för koldioxid i karbonatiserad betong ( $D_{CO_2}$ ), koncentrationen av koldioxid i luft ( $c$ ), tiden ( $t$ ) och mängden koldioxid som krävs för att flytta fronten  $dx$  ( $a$ ). Diffusionskoefficienten antas vara konstant i hela tvärsnittet då koldioxiden alltid kommer att flöda genom ett karbonatiserat skikt. Storleken på  $a$  beror främst av mängden cement, hur stor del CaO cementet innehåller samt hur stor del av CaO som karbonatiserar (karbonatiseringsgraden).

Teorin visar att fuktnivån är mycket viktig och tidigare studier (Tuutti, 1982) har visat att en regnskyddad betong karbonatiserar snabbare än en oskyddad betong då det i den förstnämnda råder en mer optimal relativ fuktighet så att koldioxiden kommer fram i lagom fyllda porer samt att det finns tillräckligt med porlösning att lösa upp både koldioxiden och kalciumföreningarna.

Denna studie placerar ut olika provkroppar av tre recept av lättklinkerbetong på en provningsplats i Lund samt i avdelningen för Byggnadsmaterials laboratorium på LTH. Karbonatiseringsdjupet hos provkropparna kommer att mätas vid olika tidpunkter för att kunna uppskatta karbonatiseringshastigheten i olika miljöer för de tre kvaliteterna.

## 2. Metod och material

I den aktuella studien har tre olika recept av lättklinkerbetong undersökts vars huvudbeståndsdelar redovisas i tabell 1.

Tabell 1: Översiktligt innehåll i lättklinkerbetongen.

Benämning	311	321	330
vct	0,62	0,52	0,5
Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	1172	1280	1521
cementsort	Byggcement	Byggcement	Byggcement
Mängd cement (kg/m <sup>3</sup> betong)	251	386	393
Mängd kalk i ballast	Ingen	Ingen	Ingen
Mängd kalkfiller (kg/m <sup>3</sup> betong)	70	0	156
Mängd lättklinker (kg/m <sup>3</sup> betong)	225	220	271
Mängd fingrus (kg/m <sup>3</sup> betong)	484	488	525
Mängd vatten (kg/m <sup>3</sup> betong)	155	199	195

Provkropparna tillverkades i Strängnäs, augusti 2009, avformades efter ett dygn och härdade i luft. De transporterades till Lund i september samma år. Tre typer av provkroppar hade tillverkats, lättklinkerbetong med och utan motgjuten cellplast där utbredningen var minst 4 gånger tjockleken för att säkerställa endimensionell transport i mitten av provet samt kuber med sidan 150 mm.

Karbonatiseringsförloppet studerades genom att vid olika tidpunkter spräcka proverna och applicera fenolftalein på den spräckta ytan och mäta det karbonatiserade skiktet med skjutmått i princip enl standard (SS 13 72 42). Fenolftalein är en indikatorvätska som är mörkt lila då pH är högre än 8-9 och ofärgad då pH är lägre. Karbonatiseringsdjupet definieras som det avstånd från ytan till det mörk lila området börjar. Hela skiktet är ofärgat.

### 3. Putsning

Några prover putsades för att studera putsens inverkan på karbonatiseringsförloppet. Putsskikten applicerades enligt följande:

1. 5 mm kalkcementbruk hållfasthetsklass B, dag 1
2. 10 mm kalkcementbruk hållfasthetsklass B, dag 2
3. 5 mm kalkcementbruk hållfasthetsklass C, dag 4

Putsningen gjordes i mars 2010.

### 4. Klimat

Prover placerades ut på taket av Väg- och vattenbyggnadshuset i Lund i april 2010. Vissa prover är utsatta för regn, andra inte. Vissa prover ligger i avdelningen för Byggnads-materials laboratorium, 20°C 30-50 % RF.

### 5. Provningsmatris

I detta avsnitt (bild 1-7) visas hur många prover av respektive recept som placerades i respektive klimat.

#### 5.1 Inomhus: BMLs Laboratorium, ca 20°C och 30-50% RF

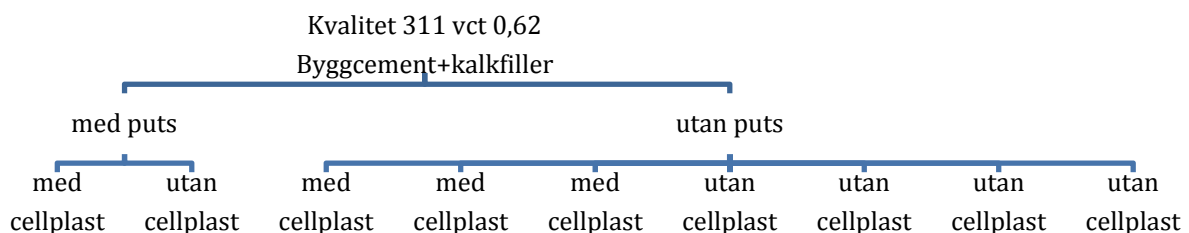


Bild 1: 9 prover av recept 311 förvaras inomhus.

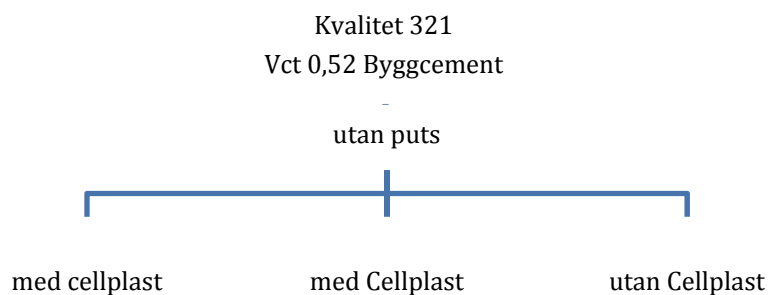


Bild 2: 3 prover av recept 321 förvaras inomhus.

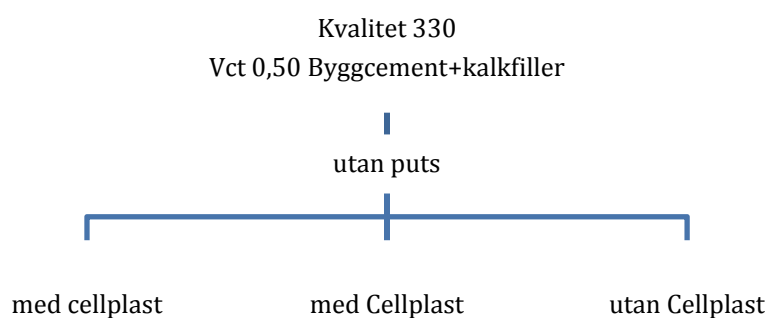


Bild 3: 3 prover av recept 330 förvaras inomhus.

### 5.2 Utomhus: Regnskyddat och ej regnskyddat

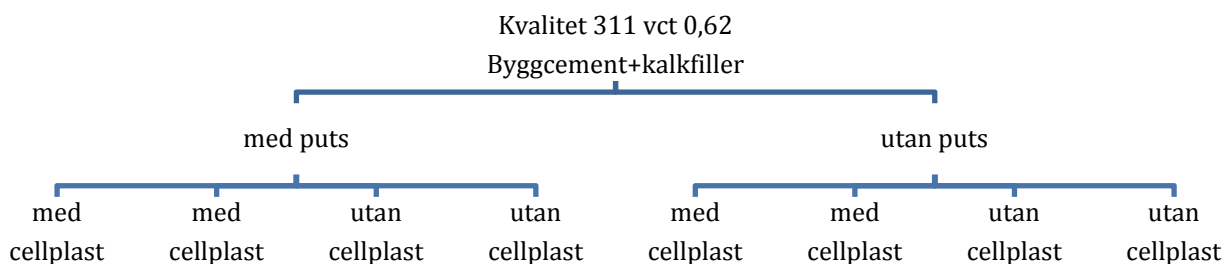


Bild 4. 8 prover av recept 311 förvaras regnskyddat utomhus.

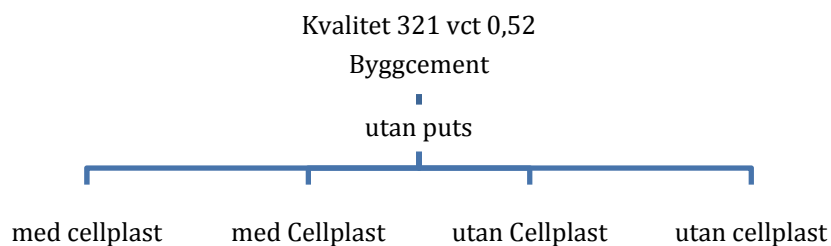


Bild 5. 4 prover av recept 321 förvaras regnskyddat utomhus.

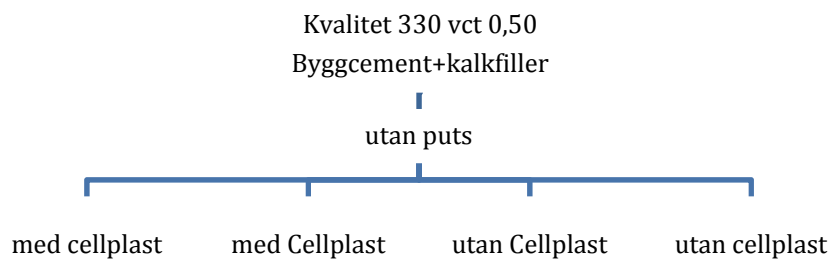


Bild 6. 4 prover av recept 330 förvaras regnskyddat utomhus.

### 5.3 Utomhus: Ej regnskyddat

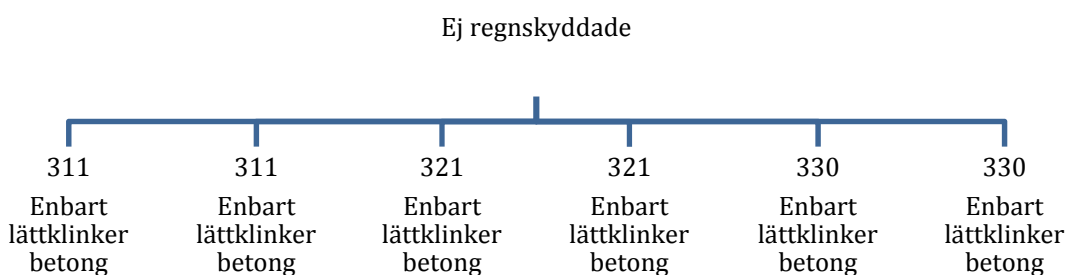


Bild 7. 2 prover av respektive recept förvaras oskyddat utomhus.



Bild 8. Prover lagrade utomhus.





*Bild 8. Prover lagrade inomhus.*

## 6. Resultat med kommentarer

### 6.1 Utplacering

Strax efter utplaceringen i april 2010 tryckprovades tre kuber av respektive material som förvarats inomhus. Detta för att konstatera hur långt karbonatiseringen har nått vid utplaceringen samt för att bestämma tryckhållfastheten hos materialen. Tryckhållfastheten bestämdes för två kuber och karbonatiseringsdjup bestämdes på en kub. Resultaten redovisas i tabell 2.

Tabell 2: Resultat från mätningar vid utplaceringen.

Kvalitet	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Hållfasthet (MPa)	Karbonatiseringsdjup (mm)
311	1193	15,1	
	1217	12,6	
			0 på alla sidor utom en där djupet var 5-10
321	1509	29,5	
	1512	26,4	
			Från gjutytan 3, övriga sidor 0-1
330	1270	15,7	
	1260	20,8	
			Från gjutytan 3, övriga sidor 0-1

Kubernas sidor var inte helt planparallella vilket kan förklara spridningen i resultaten inom recepten. Karbonatiseringen har för de flesta sidorna precis startat men det kan konstateras att olika sidor på kuben har karbonatiserat olika fort.

### 6.2 Mätning i september 2010

I september 2010 utfördes mätning på prover som placerats ut i april. Proverna knäcktes ca 1/3-del in från ena kanten, se bild 9. Karbonatiseringsdjupen redovisas i tabell 3.



Bild 9. Vänster: En provkropp knäcks i en press vid två motstående armeringsjärn. Höger: Putsad provkropp med fenolftalein applicerad på den spräckta ytan.

På taket förvaras proverna liggande med ovansidan= gjutytan uppåt.

Tabell 3: Resultat från mätningar i september 2010.

Kvalitet	Material	Klimat	Karbonatiseringsdjup (mm)
311	Lättklinkerbetong, puts och cellplast	Utomhus, oskyddad	10 mm in i putsen, 10 mm in från sidorna, inget mot cellplasten
311	Lättklinkerbetong och puts	Utomhus, oskyddad	12 mm alla sidor utan undersidan som mätte 4 mm
311	Lättklinkerbetong	Utomhus, oskyddad	9-10 mm, något mindre från undersidan
321	Lättklinkerbetong	Utomhus, oskyddad	3 mm alla sidor utom undersidan där djupet var ca 0 mm
330	Lättklinkerbetong	Utomhus, oskyddad	5 mm från alla sidor utom undersidan där djupet var 3 mm
330	Lättklinkerbetong	Utomhus, oskyddad	4-5 mm från alla sidor
311	Lättklinkerbetong och cellplast	Utomhus, skyddad	7-8 mm på alla sidor utom mot cellplasten som hade 0 mm
311	Lättklinkerbetong	Utomhus, skyddad	7-8 mm på alla sidor utom nedåt som var något mindre
321	Lättklinkerbetong och cellplast	Utomhus, skyddad	4-5 mm ovanifrån, 3 mm från sidorna, ingenting genom cellplasten
321	Lättklinkerbetong	Utomhus, skyddad	3 mm från ovensidan, något mindre från sidorna och 0 mm från undersidan
330	Lättklinkerbetong och cellplast	Utomhus, skyddad	7-8 mm från ovensidan, 6-7 mm från sidorna, inget mot cellplasten

Det är vanligt att följande enkla samband för karbonatiseringsdjup och tiden används,

$$x_{CO_3} = k \cdot \sqrt{t} \quad (4)$$

så ger detta ett  $k$  (se avsnitt 1.3) på 4,95 mm/ $\sqrt{\text{år}}$  om karbonatiseringsdjupet skall bli 35 mm på 50 år. Detta i sin tur innebär att efter ca 6 månader bör karbonatiseringsdjupet vara ca 3,5 mm eller mindreför att detta skall vara uppfyllt. Mätningarna på de oskyddade provkropparna visar kvalitet 330 har ett karbonatiseringsdjup på ca 5 mm,

311 ca 10 mm och 321 ca 3 mm, tabell 3. För de väderskyddade provkropparna blev karboniseringsdjupen ca 8 mm (311) , ca 3,5 mm (321) och ca 7 mm (330). Nilsson (2011) visade att cementmängden var en viktig parameter (framförallt om den är den största CaO-källan) och kvalitet 311 har störst karboniseringsdjup oavsett exponering och också minst cementmängd. Pastan innehåller dessutom kalkstensfiller som 'spär ut' karboniseringsmotståndet. Karboniseringsdjupet är också högre än det önskvärda 3,5 mm. Kvalitet 321 och 330 har väldigt snarlik cementmängd men kvalitet 330 innehåller en betydande mängd kalkstensfiller samt mer fingrus och leca och detta är troligtvis anledningen till att den kvaliteten uppvisar större karboniseringsdjup än kvalitet 321. Kvalitet 321 är det material som uppvisar en godkänd karboniseringshastighet. Det skall dock påpekas att proverna förvarats inomhus i 6 mån innan de sattes ut vilket bör påverka karboniseringshastigheten negativt. Karboniseringen i putsen går ungefär lika snabbt som i lättklinkerbetong kvalitet 311 och cellplasten är en effektiv karboniseringsbroms. Då mätningarna visar att undersidorna karboniserar mindre än övriga sidor även för prover utan cellplast (troligtvis pga sämre luftflöde) så skall inte inverkan av cellplasten överskattas efter enbart 6 månaders utomhusexponering. Efter mätningen placerades den större biten av provkropparna ut igen.

### 6.3 Mätningar i mars 2011

Nu skedde mätningarna vinkelrätt mot tidigare mätning. Då erhöles tre sidor som kunde jämföras med förra mätningen. Den fjärde sidan visar vad som hänt sedan förra mätningen. Karbonatiseringsdjupen redovisas i tabell 4. När mätningen var gjord var dessa provkroppar förbrukade. Det finns dock orörda provkroppar utplacerade för fortsatta mätningar.

Tabell 4: Resultat från mätningar i mars 2011.

Kvalitet	Material	Klimat	Karbonatiseringsdjup (mm)
311	Lättklinkerbetong, puts och cellplast	Utomhus, oskyddad	Ovankant: Det fanns bara ett skikt puts kvar då resten trillade av under förra provningen. Det som var karbonatiserat var det 7 mm tjocka putsskiktet men inget av Lättklinkerbetongen, underkant mot cellplast 0, orörd kortsida 12 mm, knäckt kortsida ca 3 mm
311	Lättklinkerbetong och puts	Utomhus, oskyddad	Ovankant 15 mm (8 mm puts kvar att karbonatisera), underkant ca 7mm, orörd kortsida 12 mm, knäckt kortsida ca 4 mm
311	Lättklinkerbetong	Utomhus, oskyddad	Ovansida 16 mm, undersida 6 mm, orörd kortsida 16 mm, knäckt kortsida ca 4 mm
321	Lättklinkerbetong	Utomhus, oskyddad	Ovankant 5 mm, underkant 2 mm, orörd kortsida 5 mm, knäckt kortsida ca 0 mm
330	Lättklinkerbetong	Utomhus, oskyddad	Ovansida 6 mm, undersida 5 mm, orörd kortsida 8 m, knäckt kortsida 0-1 mm
330	Lättklinkerbetong	Utomhus, oskyddad	Ovankant 4 mm, underkant ca 7mm, orörd kortsida 6 mm, knäckt kortsida ca 3 mm
311	Lättklinkerbetong och cellplast	Utomhus, skyddad	Ovankant 8 mm, underkant ca 0, orörd kortsida 12 mm, knäckt kortsida ca 11 (dubbelkollad!!)
311	Lättklinkerbetong	Utomhus, skyddad	Ovankant 9 mm, underkant ca 3 mm, orörd kortsida 12 mm, knäckt kortsida ca 3 mm
321	Lättklinkerbetong och cellplast	Utomhus, skyddad	Ovankant 5 mm, underkant ca 0, orörd kortsida 3 mm, knäckt kortsida ca 0
321	Lättklinkerbetong	Utomhus, skyddad	Ovankant 5 mm, underkant ca 1mm, orörd kortsida 3 mm, knäckt kortsida ca 0
330	Lättklinkerbetong och cellplast	Utomhus, skyddad	Ovankant 9 mm, underkant ca 0, orörd kortsida 7-12 mm (ojämn profil), knäckt kortsida ca 0

Tabell 5: Jämförelse mellan mätningen i september 2010 och mars 2011 för provkropparna utomhus. Den största inträngningen användes i jämförelsen för att vara på säkra sidan.

Kvalitet	Karbonatiseringsdjup (mm) September 2010	Karbonatiseringsdjup (mm) Mars 2011	förändring (mm)	klimat
311	10	16	6	oskyddad
321	3	5	2	oskyddad
330	5	7	2	oskyddad
321	4	4	0	skyddad
321	3	4	1	skyddad
330	7	10	3	skyddad
330	5	6	1	skyddad
311	10	12	2	skyddad
311	12	14	2	skyddad
311	8	10	2	skyddad
311	8	10	2	skyddad

Vid detta mättillfälle har proverna varit utomhus nästan ett helt år (11 månader). Kvalitet 321 visar fortfarande på en accepterbar karbonatiseringshastighet. Putsen fortsätter att fördröja karbonatiseringen av själva putsbäraren hos de putsade proverna. Då skillnaderna mellan djupen efter 6 mån exponering och 11 månaders exponering är liten är mätosäkerheten betydande och en fortsatt exponering kommer att ge en större säkerhet i mätningarna. Både kvalitet 330 och 311 visar karbonatiseringsdjup efter 11 månader som tyder på att putsbärare av dessa kvaliteter kommer att ha karbonatiseringsdjup över de 35 mm efter 50 år. Mätningarna visade liten skillnad i karbonatiseringshastighet mellan oskyddad och skyddad miljö och anledningar till detta kan vara att det legat snö på proverna under vintern (se bild 10) samt att slagregn är vanligt förekommande i Skåne. Fortfarande sågs ingen karbonatisering på sidorna med cellplast.



Bild 10. Vintern 2010/2011.

#### 6.4. Mätning april 2012 på helt orörda prover.

Proverna sågades på mitten för att låta en halva exponeras ett år till. Därför anges bara karbonatiseringsdjup för tre sidor. Provkroppen som mättes knäcktes på mitten precis före applicering av fenolftalein. Resultaten redovisas i tabell 6.

Tabell 6. Resultat från mätningen i april 2012.

Kvalitet	Material	Klimat	Karbonatiseringsdjup (mm)
311	Lättklinkerbetong	Utomhus, oskyddad	Ovankant: 11 mm. Kanter: 15 resp 12 mm. Undersida 3 mm.
321	Lättklinkerbetong	Utomhus, oskyddad	Ovankant: 1 mm. Kanter: 1 mm. Undersida: 1 mm.
330	Lättklinkerbetong	Utomhus, oskyddad	Ovankant: 8 mm. Kanter: 6 resp 5 mm. Undersida: 5 mm.
321	Lättklinkerbetong, cellplast	Utomhus, skyddad	Ovankant: 5 mm. Orörd kant: 5 mm. Sida mot isolering: 0 mm.
321	Lättklinkerbetong	Utomhus, skyddad	Ovankant: 4 mm. Kanter: 5 resp 3 mm. Undersida: 0 mm.
330	Lättklinkerbetong, cellplast	Utomhus, skyddad	Ovankant: 4 mm. Orörd kant: 4 mm. Sida mot isolering: 0 mm.
330	Lättklinkerbetong	Utomhus, skyddad	Ovankant: 4 mm. Kanter: 6 resp 5 mm. Undersida 6 mm.
311	Lättklinkerbetong, cellplast och puts	Utomhus, skyddad	Ovankant: 15 mm (alltså inte helt igenom putsen). Orörd kant: 15 mm. Sida mot isolering: 0 mm
311	Lättklinkerbetong, puts	Utomhus, skyddad	Ovankant: 15 mm (alltså inte helt igenom putsen). Orörd kant: 15 mm. Undersida: 8 mm.
311	Lättklinkerbetong, cellplast	Utomhus, skyddad	Ovankant: 11 mm. Orörd kant 15 mm. Sida mot isolering: 0 mm.
311	Lättklinkerbetong	Utomhus, skyddad	Ovankant: 10 mm. Kanter: 14 resp 12 mm. Undersida: 8 mm

Proverna har nu varit utplacerade i 24 månader. Om karbonatiseringen inte skall bli 35 mm efter 50 år bör djupet inte vara större än 7 mm. Kvalitet 330 uppvisar i princip denna karbonatiseringshastighet medan kvalitet 311 karbonatiserar klart fortare än så och kvalitet 321 karbonatiserar långsammare än så oavsett klimat. Precis som vid förra mätningen så erhöles att putsen karbonatiserar i samma takt som lättklinkerbetong kvalitet 311 och hjälper därför till med att fördröja inträngningen av koldioxid. Ännu bättre broms är cellplasten då lättklinkerbetong i kontakt med cellplast inte uppvisar någon karbonatisering efter 24 månader.

### 6.5. Mätning december 2013.

Provernas skydd förstördes av stormar i slutet av 2012 så efter det var alla proverna oskyddade. Mätningarna redovisas i tabell 7.

Tabell 7. Resultat från mätningen i december 2013.

Recept	Material	Klimat	Karbonatiseringsdjup (mm)
311	Lättklinkerbetong, cellplast och puts	*	Ovankant: 18-23 mm. Orörd kant: 14-15 mm. Sida mot isolering: 0 mm
311	Lättklinkerbetong, puts	*	Ovankant: 20 mm Orörd kant: 17 mm. Undersida: 9 mm.
311	Lättklinkerbetong, cellplast	*	Ovankant: 10 mm. Orörd kant 19 mm. Sida mot isolering: 0 mm.
311	Lättklinkerbetong	*	Ovankant: 11 mm. Orörd kant: 15 mm. Undersida: 10 mm
311	Lättklinkerbetong	*	Ovankant: 11 mm. Orörd kant: 15 mm. Undersida 10 mm.
321	Lättklinkerbetong	*	Ovankant: 0 mm. Orörd kant: 2 mm. Undersida: 4 mm.
321	Lättklinkerbetong, cellplast	*	Ovankant: 3-4 mm. Orörd kant: 3-4 mm. Sida mot isolering: 0 mm.
321	Lättklinkerbetong		Ovankant: 3-4 mm. Orörd kant: 4 mm. Undersida: 5-7 mm
330	Lättklinkerbetong, cellplast	*	Ovankant: 1-3 mm. Orörd kant: 9-12 mm. Sida mot isolering: 0 mm.
330	Lättklinkerbetong	*	Ovankant: 2-3 mm. Orörd kant: 1-10 mm. Undersida 7-9 mm.
330	Lättklinkerbetong	*	Ovankant: 5-7 mm. Orörd kant: 15 mm. Undersida: 5-7 mm.

\*alla proverna var oskyddade

Proverna har nu varit utplacerade i 44 månader. Om karbonatiseringen inte skall bli 35 mm efter 50 år bör de aktuella djupen inte vara större än 9,5 mm. Kvalitet 330 uppvisar nu en något högre hastighet än så och kvalitet 311 fortsätter att karbonatisera ännu fortare. Kvalitet 321 karbonatiserar långsammast och är klart under det önskade värdet på 9,5 mm. Precis som vid förra mätningen så visade putsen att den karbonatiserar i samma takt som lättklinkerbetongen kvalitet 311 och hjälper därför till med att fördröja inträngningen av koldioxid i putsbäraren. Cellplasten stoppar inträngningen ännu bättre då lättklinkerbetong i kontakt med cellplast inte uppvisar någon karbonatisering efter 44 månader oavsett testad kvalitet.



6.6. Karbonatisering hos prover som förvarats inomhus (labbmiljö). Oktober 2010 och december 2013. Helt orörda prover vid båda provningstillfällena.

Att mäta på prover som legat inomhus kan jämföras med en accelererad provning då dessa aldrig utsätts för fukt i vätskefas. Det är intressant att se om trenderna som de utomhusexponerade proverna visar även finns för dessa prover eller om de är miljöberoende. Mätningarna redovisas i tabell 8.

Tabell 8. Resultat från mätningen av inomhusexponerade prover.

Kvalitet	Material	Klimat	Karbonatiseringsdjup (mm)
Oktober 2010			
311	Lättklinkerbetong, cellplast och puts	Inomhus	Kanter: 10 mm. Mot cellplast: 0 mm.
311	Lättklinkerbetong med puts	Inomhus	Kanter: 12 mm. Undersida 9 mm.
311	Lättklinkerbetong med cellplast	Inomhus	Ovansida: 5 mm. Kanter: 12 mm. Mot cellplast: 0 mm.
311	Lättklinkerbetong	Inomhus	Ovansida: 10 mm. Kanter: 15 mm. Undersida 0-1 mm.
321	Lättklinkerbetong med cellplast	Inomhus	Ovansida: 2 mm. Kanter: 2 mm. Mot cellplast: 0 mm.
321	Lättklinkerbetong	Inomhus	Ovansida: 3-4 mm. Kanter: 5 mm. Undersida 3 mm.
330	Lättklinkerbetong med cellplast	Inomhus	Ovansida: 2 mm. Kanter: 3 mm. Mot cellplast: 0 mm.
330	Lättklinkerbetong	Inomhus	Ovansida: 5 mm. Kanter: 7 mm. Undersida 5 mm.
December 2013			
311	Lättklinkerbetong, cellplast	Inomhus	Ovankant:0-7 mm. Kanter: 25-30 mm. Sida mot isolering: 0 mm.
311	Lättklinkerbetong, cellplast	Inomhus	Ovankant:14-18 mm. Kanter: 25-30 mm. Sida mot isolering: 0 mm.
311	Lättklinkerbetong	Inomhus	Ovankant:19-22 mm. Kanter: 30-35 mm. Undersida: 10-14 mm
311	Lättklinkerbetong	Inomhus	Ovankant:12 mm. Kanter: 25-28 mm. Undersida: 15-17 mm
311	Lättklinkerbetong	Inomhus	Ovankant:20 mm. Kanter: 23 mm. Undersida: 12-13 mm
321	Lättklinkerbetong, cellplast	Inomhus	Ovankant:5-6 mm. Kanter: 7-9 mm. Sida mot isolering: 0 mm
330	Lättklinkerbetong, cellplast	Inomhus	Ovankant:4-10 mm. Kanter: 15-17 mm. Sida mot isolering: 0 mm

Tabell 9. Jämförelse mellan inomhus- och utomhusexponerade prover.

Kvalitet	Karbonatiseringsdjup (mm) inomhus (dec 2013) (ovansida, kant, undersida)	Karbonatiseringsdjup (mm) utomhus (dec 2013) (ovansida, kant, undersida)
311	12-22, 23-35, 12	10-23, 15-19, 9-10
321	6, 8, -	0-4, 2-4, 0-7
330	4-10,15-17,-	1-7, 9-15, 5-9

Mätningarna på inomhus- respektive utomhusexponerade prover visar på samma trender. Undersidan karbonatiserar minst, kanterna mest och ovansidan däremellan. Det finns flest prover av kvalitet 311 där också tendensen är tydligast. Utomhus skapas olika mikroklimat vid olika ytor på grund av provets geometri och större eller mindre exponering för regn. En del av skillnaden i karbonatiseringsdjup kan förklaras av detta. Något mer anmärkningsvärt är det att inomhusexponerade prover uppvisar samma tendens vad gäller långsammast karbonatisering av undersidan trots att proverna exponerats på högkant. Det skulle kunna tyda på en liten ballastseparation men proverna visade inga sådana tendenser när de spräcktes. Kanterna bör karbonatisera fortast då de utsätts för 2-dim flöde.

## 7. Diskussion

En ny typ av putsbärare av lättklinkerbetong har testats i fält vad gäller dess karbonatiseringshastighet. Tre olika kvaliteter med olika mängd cement, lättklinker-innehåll och ballastmängd testades. Mätningarna gjordes genom att bestämma karbonatiseringsdjupet med fenolftalein efter exponering olika lång tid i olika miljöer. Kvalitet 321 karbonatiserade med en så låg hastighet så att den troligen kan skydda en obehandlad armering i 50 år om täcksiktet är 35 mm. Kvalitet 311 kommer med hög sannolikhet inte att kunna skydda armeringen i 50 år medan kvalitet 330 ligger på gränsen i dessa mätningar och behöver utredas ytterligare.

Spridningen i resultaten är relativt stor och det finns en tendens att provkropparnas sidor karbonatiserar fortast och undersidan långsammast. För proverna som varit placerade utomhus så har undersidan haft sämst luftflöde vilket är en bidragande orsak till den långsamma inträngningen där. Då proverna inomhus förvarats stående på högkant och uppvisar ändå samma tendens så bör det finnas fler förklaringar till detta beteende men för att reda ut det, krävs undersökningar av materialens mikrostruktur. Att putsa på lättklinkerbetong med kvalitet 311 förlänger livslängden på densamma då karbonatiseringen skall ta sig igenom detta lager också. Den 3-skiktets puts som användes i studien visade sig karbonatisera ungefär lika snabbt som lättklinkerbetong kvalitet 311.

Att gjuta mot cellplast var ett utmärkt sätt att stoppa karbonatiseringen. Inget karbonatiseringsdjup har kunnat detekteras på någon sida som gjutits mot cellplast under studiens 4,5 år oavsett lättklinkerbetongkvalitet.

## 8. Slutsatser

- Kvalitet 321 uppvisar så långsam karbonatisering att den borde ge 50 års livslängd med avseende på karbonatiseringsinitierad armeringskorrosion hos en fasadskiva med tjockleken 70 mm och obehandlad armering i centrum av skivan.
- En 3-skikts puts bestående av bruk med hållasthetsklass B och C karbonatiserar med ungefär samma hastighet som kvalitet 311. Att putsa denna kvalitet förlänger livslängden hos denna med avseende på karbonatiseringsinitierad armeringskorrosion.
- Cellplast hindrar karbonatisering i mycket stor utsträckning.

## Referenser

Nilsson, L-O. (2011), 'A new model for CO<sub>2</sub>-absorption of concrete structures, report TVBM-3158, Lund University, Division of Building Materials.

Tuutti, K. (1982), 'Corrosion of steel in concrete', Swedish Cement and Concrete Research Institute, ISSN 0346-6906. Royal Institute of Technology, Stockholm. Department of Building Materials.

SS 13 72 42 Svensk Standard Betongprovning hårdnad betong: Karbonatiseringsdjup