Betydelsen av betongens koldioxidupptag ur ett livscykelperspektiv

I denna artikel beskriver Ingemar Löfgren, FoU chef C-lab, Thomas Concrete Group hur **betong tar upp koldioxid ur luften och hur det beräknas**. Här visas också några exempel för olika konstruktioner där koldioxidupptaget anges i kg koldioxid per kvadratmeter exponerad yta. Koldioxidupptaget för ett flerfamiljshus redovisas och **exempel ges på hur upptaget kan ökas genom alternativa lösningar.** Redovisade resultat och nomenklatur är baserad på metodik enligt den europeiska standarden EN 15804.

TEXT INGEMAR LÖFGREN

BETONG TAR UPP koldioxid (CO_2) genom att kemiskt reagera med CO_2 i luften vilket gör att en del av den CO_2 som frigjordes vid cementtillverkningen binds i betongen då kalciumhydroxid reagerar med CO_2 och bildar kalksten. Detta koldioxidupptag benämns *karbonatisering* och beaktas när erforderligt täckskikt för armering bestäms.

Då karbonatisering är en naturlig process och som endast kan förhindras genom att betongen inte tillåts komma i kontakt med luften, t.ex. genom att applicera diffusionstäta spärrskikt, så bör koldioxidupptaget (eller bindningen) också beaktas vid en livscykelanalys (LCA). Beräkning av betongens koldioxidupptag anges i de produktspecifika reglerna (PCR) för betong och betongelement, SS-EN 16757 *Product Category Rules for concrete and concrete elements*. I rapporten SIS-CEN/TR 17310:2019 beskrivs hur koldioxidupptaget beaktas i en LCA för betong, så som anges i SS-EN 16757, och ger också ett detaljerat underlag till beräkningsmodellen och de olika vetenskapliga studier den baserats på.

Flera studier har genomförts för att kvantifiera och påvisa koldioxidupptaget i betong och cementbaserade material, se t.ex. i Lagerblad (2005), Stripple (2013), Stripple m.fl. (2018) och & Andersson m.fl. (2013 & 2019). Dessa analyser visar att effekten är långt ifrån försumbar, upptaget under byggnadens brukarskede (B1) kan motsvara cirka 5 till 20 % av det utsläpp som skett under produktionsskedet (A1-A3) och kan bli avsevärt större om man beaktar och maximerar upptaget vid rivning och återanvändning (C1-C3). Stripple (2013) angav ett koldioxidupptag för ett 5 vånings flerfamiljshus med 23 lägenheter som var 31 708 kg CO_2, vilket motsvarar 23 kg koldioxid per kubikmeter betong (kg CO_2/m^3 betong). Stripple (2013) beräknade även koldioxidupptaget vid rivning och återan-

vändning (C1-C3) och angav ett konservativt värde av 5 kg CO_2/m^3, ett värde som skulle kunna ökas till 20 kg CO_2/m^3 betong med bättre och effektivare hantering. Totalt skulle detta koldioxidupptag motsvara ca 43 kg CO_2/m^3 betong vilket då motsvarar ett upptag som är 17 % av utsläppen från cementen under produktionsfasen. För betong motsvarar detta cirka 15 % då 85-90 % av utsläppen kan hänföras till cementtillverkningen. Erlandsson (2020) anger i IVL-rapporten *Modell för bedömning av svenska byggnaders klimatpåverkan* att koldioxidupptaget i betong motsvarar ca 10 % av de ursprungliga utsläppen och att den *positiva klimatpåverkan är signifikant*.

BERÄKNING AV KOLDIOXIDUPPTAG ENLIGT SS-EN 16757 ANNEX BB

Hur en beräkning av betongens koldioxidupptag i användarfasen (B1) och i slutfasen (C) ska göras beskrivs i Annex B av standarden SS-EN 16757. Ett mer utförligt underlag av modellen ges i rapporten CEN/TR 17310 *Carbonation and CO_2 uptake in concrete*.

Koldioxidupptaget av betongen beräknas enligt följande ekvation:

$$CO_2\ upptag = (k_i \times \sqrt{t/1000}) \times (CO_2 - upptag_{tcc}) \times C \times carb_i\ [kg\ CO_2/m^2]$$

- k_i *är karbonatiseringshastigheten* $[mm/år^{0,5}]$
- *t är tiden (livslängd) i [år]*
- CO_2-$upptag_{tcc}$ *är det maximala teoretiska* CO_2-*upptaget i kg* CO_2/*kg cement. För portlandcement (CEM I) är det 0,49 kg* CO_2/*kg*
- *C är cementinnehållet i betongen* $[kg/m^3]$
- $carb_i$ *är karbonatiseringsgraden i [%]*

Beräknad karbonatiseringshastighet och karbonatiseringsgrad för betong exponerad i olika miljöer är angivna i Tabell 1.

KOLDIOXIDUPPTAG FÖR EN BETONGVÄGG ENLIGT SS-EN 16757 ANNEX BB

Koldioxidupptaget för en vägg beror på dess exponering, om den är öppen eller har en beläggning (målad eller med tapet) samt av betongens tryckhållfasthet. I Figur 2 redovisas koldioxidupptaget per kvadratmeter vägg för tre olika hållfasthetsklasser med resp. utan beläggning. Som framgår av Figur 2 blir koldioxidupptaget 2,0 till 5,5 kg CO_2/m^2 efter 100 år.

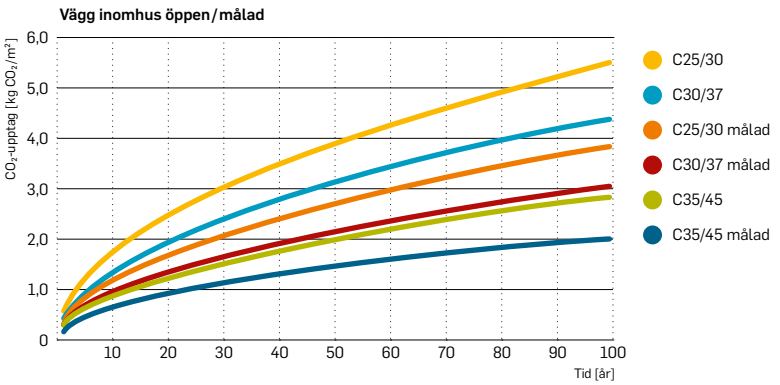
Hur stor andel koldioxid som kan bindas i förhållande till utsläppen vid cementtillverkningen (EPD-data A1-A3, enl. EN 15804) visas i Figur 3 för olika väggtjocklekar. För en tunnare vägg så kommer en större andel att bindas. I Tabell 2 redovisas koldioxid-

HÅLLFASTHET	≤15 MPa	15–20 MPa	25–30 MPa	≥35 MPa	Karbonatiserings-grad $carb_i$ [%]
PARAMETRAR	Karbonatiseringshastighet k_i [mm√år]				
Anläggning					
Regnutsatt	–	2,7	1,6	1,1	85
Skyddad	–	6,6	4,4	2,7	75
I mark	–	1,1	0,8	0,5	85
Hus					
Utomhus regnutsatt	5,5	2,7	1,6	1,1	85
Utomhus skyddad	11,0	6,6	4,4	2,7	75
Inomhus med beläggning	11,6	6,9	4,6	2,7	40
Inomhus utan beläggning	16,5	9,9	6,6	3,8	40
I mark	–	1,1	0,8	0,5	85

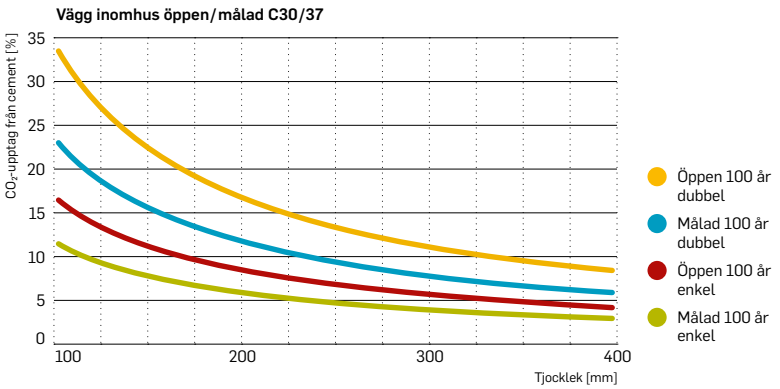
Tabell 1. Karbonatiseringsfaktorer för beräkning av karbonatiseringsdjup för olika hållfasthetsklasser (cylinder) och exponeringsförhållanden, baserad på tabell BB.1 i SS-EN 16757.

Modul B1	50 år [kg CO_2/m^2]	100 år [kg CO_2/m^2]	t = 200 mm 50 år Exponering Enkel	Dubbel	t = 200 mm 100 år Exponering Enkel	Dubbel
Vägg utan beläggning						
C20/25 (C=285 kg/m³)	3,9	5,5	8,9 %	17,8 %	12,6 %	25,2 %
C30/37 (C=340 kg/m³)	3,1	4,4	5,9 %	11,9 %	8,4 %	16,8 %
C35/45 (C=385 kg/m³)	2,0	2,9	3,4 %	6,8 %	4,8 %	9,7 %
Vägg med beläggning						
C20/25 (C=285 kg/m³)	2,7	3,9	6,2 %	12,4 %	8,8 %	17,6 %
C30/37 (C=340 kg/m³)	2,2	3,1	4,1 %	8,3 %	5,9 %	11,7 %
C35/45 (C=385 kg/m³)	1,4	2,0	2,4 %	4,9 %	3,4 %	6,9 %

Tabell 2. Koldioxidupptag efter 50 och 100 år i kg CO_2/m^2 och i % av utsläpp från cementen för en 200 mm tjock vägg, exponerad från ena eller båda sidorna och för fallen utan och med beläggning (målad/tapet).



Figur 2. Koldioxidupptag per kvadratmeter betongvägg inomhus med olika hållfasthetsklass och utan ("öppen") resp. med beläggning (målad/tapetserad yta) i modul B1 (driftsskedet).



Figur 3. Koldioxidupptag i procent av utsläppen från cementet för betongvägg inomhus efter 100 år, utan beläggning ("öppen") och med målad yta, för olika tjocklek och för ensidig och dubbelsidig exponering i modul B1.

upptaget för en 200 mm tjock vägg: efter 100 år kommer den att ha bundit från 3,4 % till 25,2 % beroende på om väggen är exponerad från en sida eller båda (t.ex. ett tätskikt på ena sidan) och beroende på hållfasthet och ytskikt.

KOLDIOXIDUPPTAG FÖR BETONGBJÄLKLAG ENLIGT SS-EN 16757 ANNEX BB

För ett betongbjälklag som har ett tätt ytskikt på ovansidan (t.ex. parkett) kommer karbonatiseringen att ske endast på undersidan. I Figur 4 visas koldioxidupptaget i procent av utsläppen från cementet för tre olika hållfasthetsklasser för fallen med målad eller obehandlad undersida (t.ex. undertak) och för olika tjocklekar. Som framgår av Figur 4 och Tabell 3 så kan koldioxidupptaget efter 100 år variera från 2,0 till 5,5 kg CO_2/m^2 vilket motsvarar 3,0 % till 10,5 % av utsläppen från cementen.

KOLDIOXIDUPPTAG FÖR ETT FASADELEMENT ENLIGT SS-EN 16757 ANNEX BB

För ett fasadelement (prefab, sandwichelement) bestående av 70 mm betong på utsidan och 150 mm betong på insidan så kommer karbonatisering att ske på både insidan och utsidan av väggen. På utsidan antas att fasadelementet är utsatt för regn och att elementet på insidan är målat/tapetserat. Koldioxidupptaget visas i Figur 6 och varierar från 2,4 till 3,3 kg CO_2/m^2 efter 100 år. Efter 100 år motsvarar detta cirka 8 % till 12 % av utsläppen från cementen, se Figur 6 och Tabell 4.

KOLDIOXIDUPPTAG FÖR EN BYGGNAD ENLIGT SS-EN 16757 ANNEX BB

Ovanstående beräkningsexempel på konstruktionsdelar kan omsättas på ett flerbostadshus med sandwichelement i fasad, bärande innerväggar av betong där insidan är målad, samt bjälklag med ytskikt på ovansidan och målad undersida. I Tabell 5 anges indata för stommen och den totala betongvolymen är 5 112 m^3. För detta hus blir den totala mängden koldioxid som tas upp under 100 år 132 624 kg CO_2 eller 25 kg CO_2 per kubikmeter betong. Det motsvarar 10 % av utsläppen från cementtillverkningen eller cirka 8-9 % av utsläppen för betongen. Resultat är därmed likvärdigt med de siffror som Stripple (2013) rapporterade.

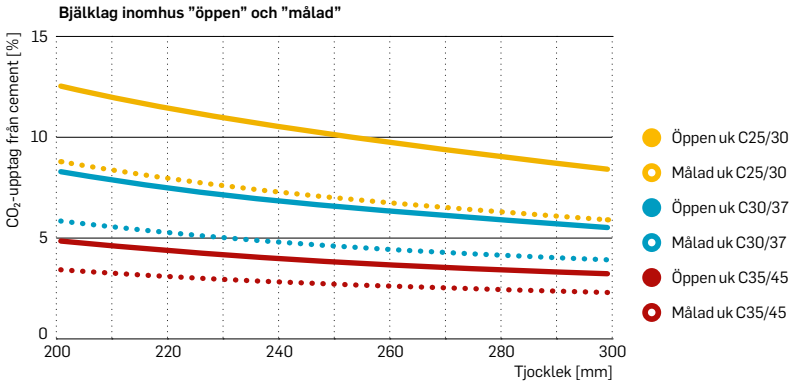
Om man beaktar upptaget i modul C (rivning och återvinning) skulle det innebära ytterligare ett upptag av 20 kg CO_2 per m3 betong, vilket för hela huset motsvarar 104 520 kg CO_2. Upptaget skulle då totalt uppgå till 17 % av utsläppen från cementtillverkningen, eller cirka 14-15 % av utsläppen från betongen. Detta illustrerar tydligt att koldioxidupptaget genom betongens karbonatisering inte är försumbar utan signifikatn. Dessutom finns det en potential att öka koldioxidupptaget genom att låta betongen vara exponerad där så är möjligt och lämpligt samt att inte föreskriva högre tryckhållfasthet än vad som krävs konstruktivt.

Genom att använda en annan golvlösning med ett uppstolpat golv så kan ljudkraven uppfyllas med ett tunnare bjälklag. Uttorkningskravet medger då en lägre betongkvalitet (C25/30) samtidigt som koldioxidupptaget maximeras eftersom bjälklaget blir exponerat från båda sidorna. Med denna typ av golvlösning blir den totala mängden koldioxid som tas upp under 100 år 156 086 kg CO_2, se Tabell 6. Detta motsvarar då ett upptag av 31 kg CO_2 per m^3 betong, vilket motsvarar hela 12% av utsläppen från cementtillverkningen eller 11 % av utsläppen från betongen.

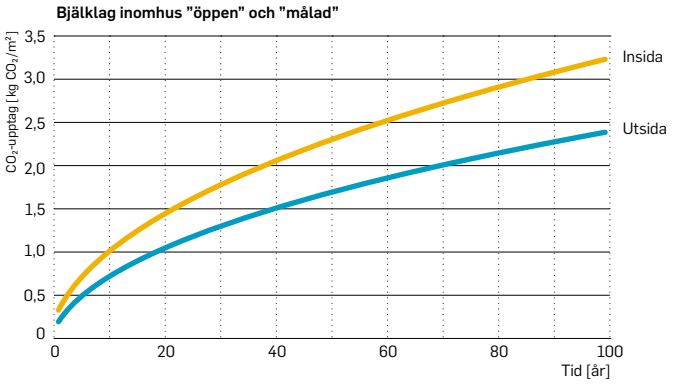
Tar man även med koldioxidupptaget i modul C så skulle det totala upptaget motsvara 23% av utsläppen från cementtillverkningen.

Modul B1	50 år [kg CO_2/m^2]	100 år [kg CO_2/m^2]	t = 240 mm 50 år	t = 240 mm 100 år
Bjälklag öppen				
C25/30 (C=285 kg/m³)	3,9	5,5	7,4 %	10,5 %
C30/37 (C=340 kg/m³)	3,1	4,4	5,0 %	7,0 %
C35/45 (C=385 kg/m³)	2,0	2,9	2,9 %	4,0 %
Bjälklag målad				
C25/30 (C=285 kg/m³)	2,7	3,9	5,2 %	7,3 %
C30/37 (C=340 kg/m³)	2,2	3,1	3,5 %	4,9 %
C35/45 (C=385 kg/m³)	1,4	2,0	2,0 %	2,9 %

Tabell 3. Koldioxidupptag efter 50 och 100 år i kg CO_2/m^2 och i % av utsläpp från cementen för ett 240 mm tjockt bjälklag, exponerad från ena sidan (ytskikt på ovansidan) och för fallen utan och med beläggning (färg) på undersidan.



Figur 4. Koldioxidupptag i procent av utsläppen från cementet för betongbjälklag inomhus efter 100 år (ytskikt ovansida och öppen eller målad undersida), i modul B1.



Figur 5. Koldioxidupptag per kvadratmeter för ett fasadelement (sandwichelement, 70 mm betong på utsidan och 150 mm insida med målad/tapetserad yta), i modul B1.

SLUTSATSER

Som framgår av de tidigare studier som har genomförts där betongens koldioxidupptag har kvantifierats tillsammans med resultaten i denna utredning så innebär karbonatiseringen ett betydande upptag i förhållande till de utsläpp som genereras vid tillverkningen av cement. De studier som finns redovisade i SIS-CEN/TR 17310:2019 visar att koldioxidupptaget under driftskedet (modul B) kan vara 10 % till 20 % av utsläppen från cementtillverkningen (motsvarar cirka 9-18 % av utsläppen från betongen) för byggnader (kontor och bostäder). Vilka ytskikt betongen har, hur den är exponerad, konstruktionens tjocklek och betongens tryckhållfasthet är alla parametrar som påverkar koldioxidupptaget. Resultaten redovisade i denna artikel visar att det, genom att använda befintlig europeisk standard, är relativt enkelt att beräkna koldioxidupptaget och att detta kan vara högst betydande. För ett flerbostadshus uppgick koldioxidupptaget genom karbonatiseringen till ca 10 % av utsläppen vid cementtillverkningen och om även rivning och krossning beaktas så skulle det totala koldioxidupptaget kunna uppgå till 17 %.

Genom att beakta koldioxidupptaget vid LCA och i miljövarudeklarationer så kommer det att leda till att byggherrar, arkitekter och byggkonsulter får ett faktabaserat underlag för att optimera betongstommen så att koldioxidupptaget kan maximeras. Betydelsen av konstruktiv lösning, t.ex uppstolpat golv, betongens hållfasthetsklass samt val av tätskikt och ytbeläggningar blir tydlig. Genom att synliggöra betongens koldioxidupptag och beakta den vid projektering och LCA så kommer detta att leda till en minskad klimatpåverkan från byggnadsverk genom att arkitekter och byggkonsulter får tillgång till ett faktabaserat underlag för att göra väl avvägda val så att betongstommens klimatpåverkan kan minimeras. Beaktandet av betongens koldioxidupptag skulle också påvisa nyttan med att återvinna betong och behandla den på ett sätt så att koldioxidbindningen maximeras (modul C). ■

Modul B1	50 år [kg CO_2/m^2]	100 år [kg CO_2/m^2]	50 år	100 år
Insida målad				
C30/37 (C=360 kg/m³)	2,3	3,3	5,5%	7,8 %
Utsida öppen				
C30/37 (C=360 kg/m³)	1,7	2,4	8,8%	12,4 %

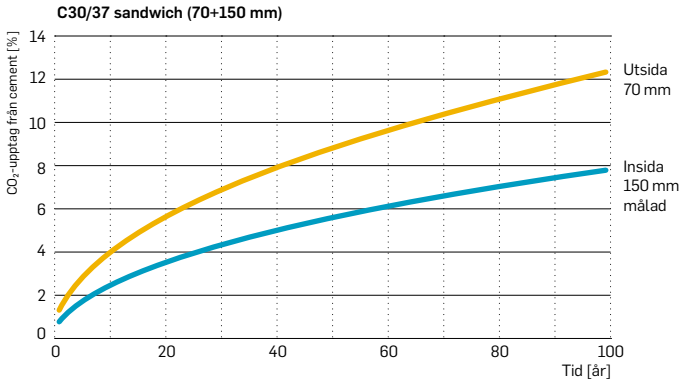
Tabell 4. Koldioxidupptag efter 50 och 100 år i kg CO_2/m^2 och i % av utsläpp från cementen för ett fasadelement (sandwichelement, 70 mm betong på utsidan och 150 mm insida med målad/tapetserad yta), i modul B1.

Modul B1 (betong C30/37)	Exponering	Yta [m²]	Volym [m³]	[kg CO_2/m^2]	[kg CO_2]
Grundplatta	1	3 720	670	4,4	16 361
Bjälklag	1	6 665	1 600	3,1	20 431
Yttervägg (insida/utsida)	2	3 002	660	3,3 / 2,4	16 946
Innervägg och trappor	2	12 857	2 316	3,1	78 886
Summa:			**5 226**		**132 624**

Tabell 5. Koldioxidupptag efter 100 år i modul B1 för ett flerfamiljshus (6 våningar med 22 lägenheter), där "exponering" i tabellen anger om elementet är ensidigt eller dubbelsidigt exponerat.

Modul B1 (betong C30/37)	Exponering	Yta [m²]	Volym [m³]	[kg CO_2/m^2]	[kg CO_2]
Grundplatta	1	3 720	670	4,4	16 361
Bjälklag (C25/30)	2	6 665	1 333	2,7 / 3,9	43 893
Yttervägg (insida/utsida)	2	3 002	660	3,3 / 2,4	16 946
Innervägg & trappor	2	12 857	2 316	3,1	78 886
Summa:			**4 979**		**156 086**

Tabell 6. Koldioxidupptag efter 100 år i modul B1 för ett flerfamiljshus (6 våningar med 22 lägenheter) med ett uppstolpat golv på bjälklaget, där "exponering" i tabellen anger om elementet är ensidigt eller dubbelsidigt exponerat.



Figur 6. Koldioxidupptag i procent av utsläppen från cementet för ett fasadelement (sandwichelement, 75 mm betong på utsidan och 150 mm insida med målad/tapetserad yta), i modul B1.

Referenser

Andersson R., Stripple H., Gustafsson T., & Ljungkrantz C. (2019): Carbonation as a method to improve climate performance for cement based material. Cement and Concrete Research 124 (2019) 105819.

Andersson R., Fridh K., Stripple H., Häglund M. (2013): Calculating CO_2 Uptake for Existing Concrete Structures during and after Service Life. Environmental Science & Technology, 2013, 47(20), pp 11625–11633. DOI: 10.1021/es401775w. Publication Date (Web): September 5, 2013.

Erlandsson M. (2020): Modell för bedömning av svenska byggnaders klimatpåverkan – inklusive konsekvenser av befintliga åtgärder och styrmedel. IVL rapport C 433, IVL Svenska Miljöinstitutet.

Lagerblad B. (2005): Carbon dioxide uptake during concrete life cycle – State of the art. CBI report 2:2005.

Leemann A. (2019): CO_2 adsorption of concrete based on the boundary conditions of Switzerland. CO2STO2019 - International Workshop CO_2 Storage in Concrete

SIS-CEN/TR 17310:2019: Carbonation and CO_2 uptake in concrete.

Stripple H. (2013): Greenhouse gas strategies for cement containing products. IVL Report B2024, Swedish Environmental Research Institute.

Stripple H., Ljungkrantz C., Gustafsson T., Andersson R. (2018): CO_2 uptake in cement containing products - Background and calculation models for IPCC implementation. IVL report B 2309, Swedish Environmental Research Institute.

INGEMAR LÖFGREN
FoU chef C-lab,
Thomas Concrete Group AB
Tekn.dr. & adjungerad professor
Chalmers tekniska högskola