

**ENERGI & MILJÖ** När cement tillverkas bildas koldioxid. Å andra sidan tar betong upp koldioxid under hela sin livstid. Det viktiga är att minska utsläppen vid tillverkningen av cement och att minska cementhalten i betong.

# Betong tar upp koldioxid under hela sin livstid

Av BJÖRN LAGERBLAD, fil dr, seniorforskare, CBI Betonginstitutet och adjungerad professor, KTH

**C**EMENT ÄR EN AV de mest använda industriprodukterna. Betong och andra cementbaserade produkter är väsentliga för uppbyggnaden av samhällsstrukturen. I motsats till mycket annat sker den största konsumtionen inte i rika länder som Sverige utan i utvecklingsländer. Den överlägset största förbrukningen sker i dag i Kina. Enligt siffror från USGS (US Geological Service, 2007) förbrukas runt 2,6 miljarder ton cement årligen och konsumtionen stiger.

Därtill kommer bränning av kalk. Konsumtionen av cement är i dag i Sverige cirka två miljoner ton per år, men under 1960-talet när infrastrukturen byggdes upp och bostadsproduktionen var hög förbrukades det dubbelt så mycket (cirka fyra miljoner ton).

## Energikrävande produktion

Produktionen av betong kräver energi i alla led från krossning av berg till transport av den blandade betongen. Men den största miljöbelastningen ger själva produktionen av cement.

Tillverkningen av cement, eller mera korrekt cementklinker, kräver mellan 4 000 och 5 000 MJ energi och processen släpper ut 700–800 kg koldioxid per ton cementklinker. Största delen av energin kommer från förbränning av fossilt bränsle även om användningen av bioråvara och avfallsprodukter ökar. Produktionen av cementklinker antas ge runt fem procent av det globala utsläppet av koldioxid, varav hälften från avgasning av kalksten och hälften från bränslet. Det är svårt och dyrt att ersätta kalksten med annan råvara.



I en del fall kan man ersätta betong med

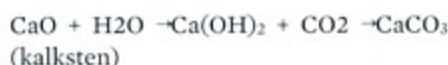
andra material som ger lägre miljöbelastning vid produktionen, men i de flesta fall är det svårt. När det gäller miljöbelastning måste man se till helheten. Det ligger i tiden att alla tillverkare försöker påvisa att deras material är miljövänligare än andras.

Det är emellertid svårt att jämföra material eftersom man kan beräkna allt på olika sätt. Viktigt är att man inte endast ser på själva materialen utan beaktar hela livscykeln inklusive energiförbrukning under brukarstadiet. Trä tål inte samma tryckbelastning och har normalt inte samma beständighet som betong. Tillverkningen av stål kräver mer energi än cement och underhållskostnaderna för stålkonstruktioner blir ofta högre.

## Betong som koldioxidsänka

Hälften av den producerade koldioxiden vid cementtillverkning kommer från calcinering av kalksten. Kalksten är kalciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) som vid hög temperatur sönderdelas till bränd kalk ( $\text{CaO}$ ) och koldioxid ( $\text{CO}_2$ ). Bränd kalk var det vanligaste bindemedlet innan det moderna Portlandcementet uppfanns i slutet av 1700-talet. Det används än i dag i vissa applikationer. Normalt blandas det med vatten och man får släckt kalk  $\text{Ca(OH)}_2$ . Den används som bindemedel där den bindande förmågan kommer från karbonatisering, det vill säga den släckta kalken övergår till kalciumkarbonat.

Bindemedlet i alla historiska kalkbruksbaserade konstruktioner är i dag karbonatiserade, det vill säga den koldioxid som avgavs vid tillverkningen av den släckta kalken är åter bunden i kalksten.



När det gäller betong och andra cement-



FÖRFATTAREN

**Björn Lagerblad** är fil dr i mineralogi och petrologi. Han är seniorforskare vid CBI Betonginstitutet och adjungerad professor vid Betongbyggnad KTH.

baserade produkter gäller samma princip som för kalk, men det är mer komplicerat. Modern cement består till cirka 65 viktprocent av  $\text{CaO}$  som kommer från kalksten. Resterande komponenter är  $\text{SiO}_2$  som kommer från kvarts och lera och  $\text{Al}_2\text{O}_3$  som kommer från lera. Dessutom innehåller cementet en del järnoxid och vid malning tillsätter man gips för att reglera tillstyvnandet.

Cement bränns vid mycket högre temperatur än kalk och  $\text{CaO}$  bildar tillsammans med  $\text{SiO}_2$  kalciumsilikatmineral (alit och belit). När detta blandas med vatten bildas en cementgel, bestående av huvudsakligen kalciumsilikathydrat, och kalciumhydroxid. Detta medför att cementpastan, i motsats till den släckta kalken, inte kräver koldioxid för att stelna utan kan även hårdna under vatten (hydrauliskt bindemedel).

Cementgelen är en mikrokristallin (nanostorlek) produkt uppbyggd av silikatetrahedrar sammanbundna med  $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$  och vatten. När cementpastan utsätts för koldioxid kommer denna att karbonatisera och ger en produkt som består av kalcit ( $\text{CaCO}_3$ ) och silika i gelform.

Koldioxid i olika former finns överallt och då cementpastan inte är stabil är det inte en fråga om, utan när cementpasta karbonatiserar.

Om man antar ett geologiskt tidsperspektiv kommer all den koldioxid som avgavs som ett resultat av kalcineringen av kalksten att åter vara kalksten. Detta medför att hälften av den koldioxid som avgavs vid tillverkning av cement kommer att bindas igen. All betong kommer att bli en koldioxidfälla. Hur snabbt betongen karbonatiserar beror på faktorer som lokal miljö, täthet, temperatur och halt CO<sub>2</sub>.

### Hastighet avtar med tiden

När det gäller upptaget av koldioxid är det väsentligen tiden som i sin tur relaterar till karbonatiseringshastigheten. För att förstå och kunna beräkna denna måste man beakta mekanismen.

I typfallet befinner sig en betongyta i kontakt med luft som innehåller koldioxid. När koldioxid tränger in i betongen så karbonatiseras cementpastan. Detta går snabbt i början men i senare stadier måste koldioxiden tränga genom redan karbonatiserad betong för att nå färsk cementpasta. Det karbonatiserade skiktet blir allt tjockare vilket medför att karbonatiseringshastigheten avtar med tiden. Rent matematiskt avtar hastigheten med roten ur tiden. Normalt är den karbonatiserade betongen lika stark som den ursprungliga betongen. Porositeten ärvs också till stor del av den karbonatiserade betongen.

### Fukt påverkar

En annan viktig faktor är tätheten. Betong är porös och har ett sammanhängande kapillärssystem. En starkare betong är mindre porös vilket medför långsammare karbonatisering.

En bro innehåller en stark betong dels då den ska bära större last men också för att den ska karbonatisera långsammare så att armeringen inte rostas. Detta är inget problem för en inomhusbetong då miljön här är för torr för att kunna ge armeringskorrosion.

Karbonatiseringshastigheten påverkas även av fukten. Koldioxid transporteras snabbare som gas än joner i vatten. Med utgångspunkt från miljön och betongens kvalitet kan man approximativt



**Karbonatisering i mikroskop.** Foto taget av karbonatiseringsfront. Betongen är slipad så tunn att ljus kan penetrera genom betongen vilket gör det möjligt att identifiera komponenterna i polarisationsmikroskop. Kalciumhydroxid har låg medan kalcit har hög dubbelbrytning vilket medför att den karbonatiserade cementpastan till vänster på bilden blir ljus. De mörka och olikfärgade partiklarna är ballast. Ytan är 5 mm i verkligheten.

beräkna karbonatiseringsdjupet, mängden karbonatiserad betong och därmed koldioxidupptaget.

Ett exempel: En vanlig husbyggnadsbetong har inomhus på 50 år karbonatiserat cirka 40 mm, skyddad utomhus cirka 30 mm och om den är regnutsatt på en fasad 10 mm. På hundra år har karbonatiseringen nått cirka 60, 40 respektive 15 mm för respektive typ. En brobetong, som är tätare, har på 100 år och i regnutsatt läge karbonatiserat cirka 10 mm och i regnskyddat läge cirka 25 mm. Dessa hastigheter visar att det tar lång tid för att i befintliga konstruktioner kunna räkna hem koldioxidupptaget.

### Kross ger färsk yta

Den konstruktionsdetalj som ger mest upptag är inomhusbetong där exempelvis en gammal vägg från 1960-talet till största delen är karbonatiserad. När det gäller övrig betong är kvaliteten högre eller konstruktionsdetaljen tjockare. Här måste man även beakta uppkrossning och slutanvändning.

I dag krossas gammal betong och förbrukas som bär- och stabiliseringslager. När en betong krossas uppkommer nya och färsk ytor. Det kommer att bildas små fragment av cementpasta och stenar med bitar av cementpasta. De färsk ytor kommer att karbonatisera snabbt. Med ett antagande om att cementpastan på stenarna är 2-3 mm tjock och att cementpartiklarna har en radie av samma storleksordning kommer all kross från en brobetong, om den har fri tillgång till luft, att karbonatisera på mindre än tre år. Experiment pågår för närvarande för

att mäta upp hastigheten under olika förutsättningar.

Det har producerats betong under mer än hundra år och därmed har det ackumulerats stora mängder betong som tar upp koldioxid från atmosfären. När mängden betong blivit tillräckligt stor kommer den att ta upp lika mycket koldioxid som släpps ut av cementindustrin per år. Detta kommer att ske senare i utvecklingsländer varför man fortfarande får ett nettotillskott.

### Fokusera på tillverkning

Tillverkningen av cement genererar koldioxid som kan ge skadliga temperaturhöjningar. Betong och andra cementbaserade material karbonatiserar med en viss hastighet. I ett långt tidsperspektiv kommer all den koldioxid som genereras av kalcinering av kalksten att åter tas upp av betongen. Efter en viss tidsperiod kommer man att ha så mycket betong i omlopp att den avgivna mängden koldioxid balanseras av karbonatiseringen.

Det går inte att i större skala ersätta betong med andra material. Det väsentliga är därför att minska koldioxidutsläppen vid cementtillverkning, att inte använda onödigt mycket cement i betongen och att utnyttja betongkonstruktioners förmåga att minska miljöbelastning i brukarstadiet. □

### Källa:

Mer att läsa om karbonatisering av betong finns i "Carbon dioxide uptake during concrete life cycle-state of the art". Björn Lagerblad CBI rapport 2:2005.