

Finnes svaret på bærekraftig betong i Romertiden?

Tidligere i sommer dukket det opp flere artikler med referanse til en studie som har vært utført av et forskningsmiljø ved Universitetet i Utah i USA.

Gunrid Kjellmark
Forskningsleder Betong
SINTEF Byggeforsk

INNLEGG

Professor i geologi og geofysikk, Marie Jackson, har ledet arbeidet. Denne studien har analysert hvordan bindemidlene i den gamle romerske betongen er sammensatt og hvordan betongen motstår nedbrytningsmekanismer fra sjøvann.

Nå hevder forskerne at de kan være på sporet av en løsning for å utvikle en mer bestandig og bærekraftig betong enn det vi har i dag, og at de ved å ta i bruk den samme teknikken som romerne brukte, vil kunne lage en mer miljøvennlig betong som ikke sprekker opp i kontakt med sjøvann.

Denne studien var bl. a. omtalt av forskning.no allerede i 2014, og har nå i sommer vært omtalt i Teknisk Ukeblad (4. juli) og hos EurekaAlert (3. juli). Felles for artiklene er stor entusiasme rundt denne forskningen, som fremstår som et nytt og spennende gjennombrudd for moderne betongteknologi.

Det som imidlertid ikke nevnes, er at denne teknologien allerede brukes i tilnærmet all moderne betong. De siste 30 årene har betong i Norge og mange andre deler av verden blitt tilsatt pozzolane materialer som det henvises til i artiklene, nettopp for å sikre lang levetid for betong, samt for å redusere karbonavtrykket for betong (se lenkene ned i artikkelen). "Moderne" pozzolaner er vanligvis ikke fra vulkanske kilder, men avfallsstoffer fra industriell virksomhet med de samme egenskapene. Det være seg flyveaske fra kullfyrte kraftverk, slagg fra råjernsproduksjon eller silikastav fra silisiumproduksjon. Dette er også en viktig del av sirkulærøkonomi

og er en bedre miljøløsning enn å benytte begrensede naturlige ressurser som vulkansk aske.

Moderne betong tåler sjøvann, smuldrer ikke bort og har den samme effekten med at mindre riss og sprekker gradvis tettes igjen av betongen selv. I tillegg har den moderne betongen langt høyere styrke (ikke minst tidligfasthet for å sikre produktivitet) samt en rekke nye egenskaper som åpner opp for mange bruksområder der det hadde vært utenkelig å bruke den gamle romerske betongen. I norsk klima må betong tåle både frost og høye temperaturer. Videre er armering av betongen i dag en forutsetning for å bygge materialeffektive bygg og anlegg som møter samfunnets krav til bærekraft, og den største utfordringen med moderne betong er å beskytte armeringsstålet mot korrosjon som følger av kloridinnetring (fra f.eks. sjøvann) eller karbonatisering.

Romere trengte ikke bekymre seg for store klimapåkjenninger, og

de brukte heller ikke stålarmert som de måtte ta hensyn til med tanke på korrosjon. Så selv om det kan være spennende og lærerikt å kartlegge hvordan den romerske betongen var laget og hva som gjorde den så godt egnet til de konstruksjonene den ble brukt til, vil det nok neppe være optimal utnyttelse av forskningsmidler å kun lete etter svaret på hvordan vi kan bygge bærekraftige betongkonstruksjoner ved å gå tilbake til den byggeteknikken (sammenlign med steinblokker i massive trykkbuer) og de materialene man brukte for 2000 år siden.

Så hva gjør vi for å sikre bærekraftig bruk av betong i moderne tid?

Bærekraftig betong forutsetter at produktene og konstruksjonene er miljøvennlige, økonomisk lønnsomme og at det benyttes sikre prosesser under bygging og drift. Det er kjent i byggenæringen at tradisjonell sementproduksjon globalt sett skaper store klimagass-

utslipp. Det benyttes utslippstall som viser at verdens sementproduksjon står for mellom 5 og 8 % av det totale menneskeskapte CO₂-utslippet. Dagens sement er basert på brenning av kalkstein ("Portlandsement"), hvor CO₂ er biprodukt. Tallene blir så høye fordi betong, sammen med andre sementbaserte produkter, brukes i langt større grad enn andre byggematerialer i kraft av sine gode egenskaper. Heldigvis har man i store deler av verden begynt å ta denne realiteten innover seg, og det forskes på mange områder for å bedre klimaavtrykket til betong som byggemateriale.

Betong er, som kjent, verdens mest brukte byggemateriale (ca 10 km³ > Mount Everest). Årsaken er at betong er robust, rimelig, lett tilgjengelig i store volumer og har lang levetid. Det vil være utopi å se for seg en reduksjon i bruken som vil gi en merkbart positiv effekt på miljøet i seg selv.

Heldigvis har betongbransjen i Norge, Europa og andre deler av verden et stort fokus på å utvikle betong til å bli et enda mer bærekraftig materiale ved å ta i bruk nye materialer og utførelsesmetoder.

I Norge er bl.a. bransjen samlet i en felles satsning som har fått tittelen BETONGløftet, hvor man ønsker å synliggjøre og kommunisere de aller beste bærekraftige løsningene for betong og betongkonstruksjoner gjennom utvalgte forprosjekter, se www.betong-loftet.no.

Ved SINTEFs og NTNUs forskningsmiljøer samarbeider vi godt med bransjen om flere spennende forskningsprosjekter, hvor målene er mer bærekraftige bygg og konstruksjoner. Forskningen retter seg blant annet mot å bedre styrke- og bestandighetsegenskapene, utvikle nye bindemidler (sementer) som inneholder mindre andel Portlandsement, nye typer armering eller finne nye materialkombinasjoner. Dette kan f.eks. være betong i kombinasjon med tre eller aluminium, hvor de beste egenskapene fra hvert materiale utnyttes optimalt.

SINTEF står også bak et nytt nettverk for grønn konkurransekraft hvor anleggssektoren inviteres til å delta. I dette nettverket, Grønn Anleggssektor, er også miljøregnskapet til betong et tema.

Bedring av styrke- og bestandighetsegenskaper Tradisjonell betongforskning har gjerne dreid seg ut å utvikle stadig sterkere og mer bestandig betong. Dette arbeidet gir fortsatt nye og interessante resultater som benyttes i aktivitet knyttet opp mot

offshorevirksomhet, spesielt i mer krevende klimatiske områder. Videre går mer av forskningen ut på å forstå skademekanismene i betong for å gjøre materialet enda mer robust. Dette blir stadig viktigere med tanke på store infrastrukturbygninger og at man nå gjerne dimensjonerer for 100 års levetid i stedet for 50 år, samt restlevetid.

Det er også en økt interesse for utvikling av ultrahøyfast betong (UHPC) med trykkfasthet på mer enn 150 MPa og ekstremt god bestandighet. Ved å bruke slike ultrahøyfaste betongkvaliteter som kan produseres kommersielt ved etablerte betongprodusenter, kan man bygge langt slankere konstruksjoner med meget lang levetid. SINTEF er forskningspartner i et slikt prosjekt som Dr. techn Olav Olsen leder på vegne av flere andre industripartnere, med støtte fra Forskningsrådet.

Miljøvennlig sementproduksjon og nye bindemidler

Å gjøre noe med selve sementproduksjonen og hvordan sementen anvendes vil gi den største effekten på klimaregnskapet for betong. Oppsummert kan man si at det er fire hovedaktiviteter man arbeider med og forsker på i denne sammenheng:

- Endring fra fossile brennstoff til alternative brennstoff ved brenning av kalk i sementproduksjonen
- Forbedring av miljøeffektiviteten i fabrikkene
- Karbonfangstanlegg ved sementfabrikkene
- Utvikle alternative bindemidler for erstating av tradisjonell Portlandsement

Norcem har tatt en viktig rolle her gjennom sin visjon om å gjøre betong til et klimanøytralt byggemateriale innen 2030. En av de viktigste satsningene deres er et karbonfangstprosjekt ved fabrikk i Brevik. I tillegg jobber de hele tiden med å redusere andelen klinker i sementen ved å bruke alternative materialer, som flyveaske eller kalksteinfiller, samt at de bruker avfallsbasert brensel som erstating for kull. Du kan lese mer om Norcem sin nullvisjon på www.norcem.no/no/nullvisjon.

Videre forskes det på å kunne ta i bruk brent mergel som portland klinker. Mergel er en leire som er "forurenset" av små kalksteinspartikler, og dermed ikke er egnet til bruk i vanlig leireindustri (f.eks. teglstein og Lecakuler). For å kunne brukes i betong, må mergelen kalsineres slik at den blir reaktiv. Kalsinering er en forbrenningsprosess som foregår ved



Helgelandsbrua er et eksempel på brobyggerkunst som ikke ville vært mulig uten bruk av moderne, armert betong. Ved hjelp av armering klarer denne betongkonstruksjonen å ta opp store strekkrefter, og man kan lage en slank konstruksjon med redusert materialbehov. Brua har i alt 12 spenn hvorav hovedspennet er på 425 meter, og seilingshøyden er 45 meter. Alle pilarene er bygd med klatreforskaling, også de to hovedtårnene som bærer «fritt frambygg»-delen. Brubanen er betydelig slank i horisontalplanet, bare 40 cm i tykkelse på midten og 1,2 meter i ytterkant. Hovedtårnene er 138 og 127 meter høye fra havoverflaten og til toppen. I tillegg er det nordligste tårnet fundamentert ned til en dybde på 30 meter under havoverflaten. Tårnene er 6 meter brede sett fra siden av brua og 2,2 meter på det smaleste, sett på tvers av brua. Brua ble konstruert av Elljarn Asbjørn Jordet i Aas-Jakobsen AS i samarbeid med det tyske konsulentfirmaet Leonard, Andrae und Partner. Kilde: Wikipedia Foto: Wikimedia Commons

700-800 °C, i stedet for 1450 °C som brukes i brenneprosessen for klinker for vanlig sement. Kalsinering ved lavere temperatur er altså en mindre energikrevende prosess, noe som igjen åpner for å bruke brensel med lavere forbrenningsenergi, slik som biobrensel.

I tillegg forsker vi på hvor mye CO₂ som tas opp igjen i sementbaserte produkter (betong, mørtel) i byggets levetid. Det ser ut til at rundt 15 % av den CO₂ som avgår ved sementproduksjon tas opp igjen.

Bruk av alternative armeringsmaterialer

Betong fikk virkelig sitt gjennomslag som byggemateriale da man i 1830-årene fant ut at den kunne armeres med stålstenger. Romerne forsøkte å armere med bronse, men på grunn av at betong og bronse har forskjellige varmeutvi-

delskoeffisienter, var disse forsøkene mislykket.

Stål har mange fordeler som armering i betong fremfor andre materialer. Det er billig, forlenget seg lite under strekk (og gir dermed mindre oppsprekking av betongen), utvider seg likt som betongen ved temperaturforandringer, er relativt enkelt å bearbeide og har god heft til betongen. I tillegg gir betong en naturlig, god beskyttelse av stålet pga. det høye pH-nivået i betongen.

Utfordringen med stålarmert, er at den korroderer lett dersom klorider kommer til armeringen gjennom riss og sprekker eller om betongen "karbonatiserer" (CO₂ i luften tas opp og reagerer med kalk i sementen). Ved karbonatisering senkes pH-nivået i betongen, og man mister den naturlige beskyttelsen av armeringen. På grunn av dette er det ofte nødvendig å benytte en betong

Tunnelene er sikret med elementer fra Ølen Betong

Ubrennbare og sterke betongelementer gir trygge og sikre tunneler for vei og jernbane.
Ølen Betong er en norsk leverandør med 30 betongstasjoner, fabrikk for betongvarer, samt flere fabrikker for elementer til bygg og samferdsel.
Over 100 tunneler er kledd med våre betongelementer for brann-, vann- og frostsikring.

Tlf 53 77 52 00 mail@olenbetong.no www.olenbetong.no

med høyere kvalitet (tettere betong), altså mer sement enn det konstruktive behovet skulle tilsi, og man må ha en større overdekning av armeringen (man må altså bruke mer betong).

Med bakgrunn i dette har det i mange år vært utført en rekke forsøk rundt om i verden på bruk av alternative armeringsmaterialer som ikke rustet. Blant de alternative armeringsmaterialene finner vi basalt, glassfiber, karbon og fiberarmering i en rekke varianter. Flere av disse armeringsproduktene har vist seg egnet til visse formål, men prisene blir gjerne for høye til at de slår igjennom i stor skala. Videre har de ikke de samme duktile egenskapene som stålarmring, og kan av den grunn ikke brukes til alle konstruksjonsformål.

Hva med aluminium?

Det siste tilskuddet i rekken av alternative armeringsmaterialer er aluminium. De fleste med litt kjennskap til grunnleggende betongkjemi, vil nok heve litt på øyenbrynene om vi forteller at vi ønsker å benytte aluminium som armering i betong. Betong og aluminium er i utgangspunktet en dårlig kombinasjon, da aluminiumen vil reagere med betongen



Fig. 1

på grunn av den høye pH-verdien i mørtelen. Om du støper aluminium inn i betong, vil det danne hydrogengass på grunn av de kjemiske reaksjonene, og metallet vil nok så raskt korrodere og gå i oppløsning.

Nå har imidlertid sjefforsker Harald Justnes i SINTEF Byggforsk kommet på en idé for å unngå denne problematikken, og sammen med Hydro AS har SINTEF startet et forskningsråds-finansiert prosjekt med tittelen "Durable Aluminium Reinforced Environmentally-friendly Concrete Construction – DARE2C."

Prinsippet er i utgangspunktet nokså enkelt; man må lage en betong med lavere pH, slik at ikke

aluminiumet reagerer i kontakt med betongen. Ufordringen ligger i å finne et alternativt binde-middel til sement med pozzolane egenskaper, som gir en lavere pH i betongen. Et slikt alternativ kan f.eks. være kalsinert blåleire.

Ettersom aluminium ikke korroderer ved miljøpåvirkning på samme måte som vanlig stål (pga. kloridinntregning eller karbonatisering), dukker det opp mange fordeler ved å bruke dette metallet i stedet for stål; man kan lage slankere konstruksjoner fordi man ikke trenger en tykk overdekning for å beskytte armeringen, og man kan lage en mer porøs betong, dvs. bruke mindre bindemiddel da man ikke trenger

en tett betong som hindrer inntrenging av f.eks. klorider. Dette betyr at man kan designe betongen med hensyn til fasthetsklasse fremfor miljøklasse, som i mange tilfeller er dimensjonerende i dag.

Vi tror ikke aluminium kan erstatte stålarmring i alle sammenhenger, men det finnes en rekke eksempler på konstruksjonsdeler hvor man ikke har behov for de samme styrkeegenskapene som tradisjonell stålarmring. Hvorvidt det er andre ufordringer vi ikke har tenkt på, vil forskningen vise.

Fokus på utslippsfrie byggeplaser og en "Grønn Anleggssektor"

Anleggssektoren er en del av byggenæringen som står for en

stor del av klimagassutslippet. Oslo Kommune har tall som viser at sektoren står for 30 % av alle utslipp fra transportsektoren og i tillegg kommer utslipp fra byggematerialene som brukes. Betong er kanskje det viktigste byggematerialet i store anleggs- og infrastrukturprosjekter. Det vil derfor være mye å hente på miljøregnskapet knyttet til betongproduksjonen.

SINTEF har i samarbeid med aktører i anleggssektoren, opprettet et nettverk for grønn konkurransekraft der alle aktører tilknyttet anleggssektoren inviteres til å delta i nettverket Grønn Anleggssektor. Nettverket mottar økonomisk støtte fra Forskningsrådet.

Figur 1 viser temamatriksen for Grønn Anleggssektor, og innenfor denne matriksen er det mange betongrelaterte ufordringer å ta tak i:

- Mer miljøvennlige transportmidler; betongbiler og -pumper på biodiesel, elektrisitet eller hydrogen - eller kanskje i hybridvarianter?

- Industriell betongproduksjon med plasstøping og elementproduksjon; miljøregnskap og økonomisk lønnsomhet

- Bruk av kortreist stein og resirkulerte materialer; gjenbruk av

tunnelmasse, knust betong i fyl-linger, resirkulert tilslag

- Betong som grønt byggemateriale; redusert CO2-utslipp fra sementproduksjon og energieffektiv betongproduksjon

Med utgangspunkt i dette fokusområdet, ønsker SINTEF, sammen med NTNU, og bygge opp et sterkt faglig miljø rundt tematikken bærekraftig infrastruktur. Viktige fagområder blir:

- Materialer: resirkulering, nye materialer og optimalisering av eksisterende materialer

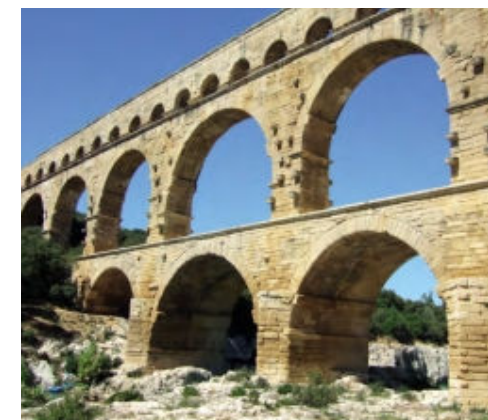
- Utførelse: produksjon, forvaltning, drift, vedlikehold

- Design: riktig materiale på riktig plass

Romernes kompetanse suppleres daglig med moderne betongteknologi i alle bygg og anlegg. For å løse dagens ufordringer, må de beste løsningene for de tekniske, økonomiske og miljømessige egenskapene være basert på nyere forskning og utvikling.

Den flerfaglige betongforskningen viser veien til framtidens byggematerialer.

¹ Pozzolane stoffer har den egenskap at de danner bindestoffer ved reaksjon med kalsiumhydroksid. [Store Norske Leksikon, https://snl.no/pozzolan_-_teknikk]



Pont du Gard er egentlig ikke en betongkonstruksjon, men et eksempel på romersk konstruksjonsteknikk hvor lastene tas opp i buene som trykkrefter. I slike konstruksjoner er det ikke behov for armering til å ta opp strekkbelastninger. Til gjengjeld krever denne byggeteknikken en vesentlig større materialmengde sammenlignet med moderne armerte betongkonstruksjoner som er betydelig slankere. De frie spennene kan heller ikke være spesielt lange.

Pont du Gard er en akvedukt og bro i den sørlige del av Frankrike. Den ble bygd av romerne, og muligens ferdigstilt i år 18 f.Kr. Selve broen er bygd uten bruk av mørtel, men det er betong i sidene på akvedukten. Broen er bygget i tre plan (etasjer) og er 49 m høy. Det lengste planet er 275 meter langt. Kilde: Wikipedia

Foto: Wikimedia Commons