



Norsk Oljemuseum Årbok 2017





Fra Mesopotamia til Mars?

AV FINN HARALD SANDBERG

Betong er verdens viktigste byggemateriale og representerer omtrent halvparten av alle bygg som er reist i verden i dag.

«Betong er en av de største oppdagelser i bygge-historien. Uten den ville ikke den økonomiske utvikling og den økning vi har hatt i levestandard gjennom de siste hundre år vært mulig», konstaterte Lord Duncan-Sandys, president i Europa Nostra, en europeisk samlingsorganisasjon for frivillige kulturvernorganisasjoner, i et forord til en bok utgitt i forbindelse med en konferanse i Köln om betongens rolle for bevaring av historiske bygninger i 1975.

De store betongkonstruksjonene som er brukt som bærestrukturer og lager for olje i Nordsjøen er et av de mest unike norske bidrag til oljeproduksjon til havs. Condeepene (Concrete Deep Water Structure) som de ble kalt, ble bygget i en tyveårs periode fra 1973 til 1993. Hvor kom ideen om å bruke betong til slike

gigantiske konstruksjonene fra og hva er egentlig betong? Hvilke framtidsutsikter ser en for seg for betongteknologien?

Hva er betong

Betong er, veldig enkelt sagt, et byggemateriale som lages ved å blande sement og vann med tilslag av sand- og steinmaterialer. Ved at sementen reagerer kjemisk med vannet stivner massen og oppnår betydelig styrke. Prosessen kan beskrives som å lime sammen stein og tilsatsmaterialet til kunstig stein.

Det er ikke uvanlig å forveksle betong med sement. Sement er det pulveret som blandes med vann, sand og stein. Betong er produktet av denne blandingen. Sement er som regel laget av gips, kalk eller pozzolaner (et stoff som vi skal komme tilbake til).

Historien

De aller første spor av «limt stein» eller mørtel er funnet i Mesopotamia, området mellom elvene Eufrat og Tigris. De daterer seg til mer enn 20 000 år tilbake i tid. Ulike kulturer har brukt ulike materialer. Assyrere og babyloniere brukte leire og bitumen (et råoljebasert materiale som minner om asfalt), fönikere og egypterne brukte gips og kalk og grekerne kjente også til kunsten å brenne kalk.

De eldste spor av betong med kalk som bindemiddel er ni tusen år gamle. Under utgraving i det israelske landområdet Yiftah'el rett nord for Nasaret, er det funnet et gulv med rester av noe som kan minne om moderne betong, med kalk som bindemiddel. Jerikos murer, som ifølge Bibelen falt sammen etter vedvarende hornblåsing² - ikke langt fra Yiftah'el - var muligens også laget av en lignende betong.

Den kinesiske forskeren Bao Ying mener at Babels tårn, som omtales i Bibelen, ble bygget av betong. At tårnet bare ble halvparten så høyt som planlagt, skyldtes at man gikk tomt for råmaterialet. De som stod ansvarlig for byggingen trodde at dette var et budskap fra Gud, og avbrøt derfor byggingen – hevder Bao Ying.

Men det var romerne som først utviklet betongteknologien til et avansert nivå, sannsynligvis under Julius Cæsars regjeringstid mellom 100 – 50 f.Kr. Romerne blandet vulkansk aske fra områdene rundt byen Pozzuoli, i

nærheten av Vesuv, med brent kalk, sand, singel og vann og laget et materiale som minner mye om moderne betong. Tilsetningsmaterialet som brukes i betong i dag, pozzolaner, kommer altså fra romerne og byen Pozzuoli.

«Det finnes et pulver – genus pulveris – som av natur lager fantastiske ting. Når det blandes med kalk og stein, og tilsettes vann, vil det herde og bli solid. Det gir ikke bare vanlige bygninger styrke, men også murer som bygges i havet blir så sterke at selv ikke bølger og strøm klarer å ødelegge dem.» Sitat av den romerske forfatter Vitruvius (80 – 15 år f.Kr.)

Romerne drev det langt i å bruke naturlige pozzolaner. Betongen de laget basert på dette materialet er brukt i kjente byggverk som Colosseum, Pantheon og akveduktene. Byen Roma utviklet seg på denne tiden til å bli en millionby, mye på grunn av kunnskapen om betong og tilgangen på råstoff. Under Roma finnes store mengder vulkansk aske. Ved å bruke betong kunne romerne bygge i høyden, opptil åtte etasjer.

Kunnskapen forvitret

Med Romerrikets fall forvitret også kunnskapen om betong. Det finnes enkelte eksempler på bruk av sement og betong også i middelalderen både i kjente bygg og i litteraturen. Men det var først på 1800-tallet at det ble utviklet en forbedret sementkvalitet som var god nok for større bygg med betong som byggemateriale.

I 1824 tok den engelske mureren Joseph Aspdin patent på et produkt han kalte Portlandsement. Navnet er avledet fra en spesiell steintype fra øya Portland i England. Ved bruk av denne steinen ble sementkvaliteten kraftig forbedret.

Betongens egenskaper

I de senere år er man blitt klar over at framstilling av sement medfører store utslipp av CO₂, og gjør at betong har store negative miljøkonsekvenser. Ved å bruke en større andel pozzolaner som bindemiddel i betong blir mengden av CO₂ redusert. En annen mulighet er å bruke flyveaske fra kulldrevne kraftverk som tilsetning i sement, noe som bidrar til å redusere et av avfallsproblemene ved kullkraftverkene.

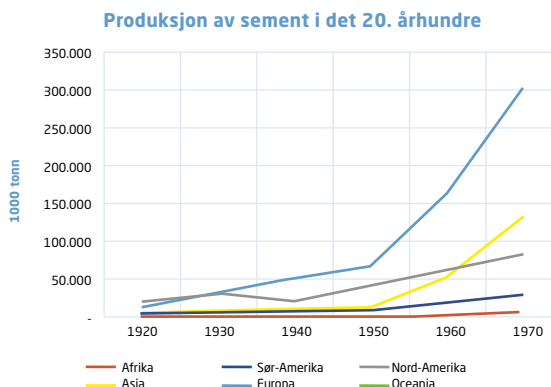
Ved bruk av moderne betong, stålarmering og forspenning kan det oppnås svært stor bæreevne. Armert betong, tok den franske gartneren Joseph Monier patent på i 1867 etter å ha brukt armering for å forsterke blomsterpotter. Produktet har den egenskapen at de to materialene virker sammen ved overføringen av opptredende krefter. Armeringen er som regel stenger eller kabler av stål, hvor stålet er helt omsluttet av betongen. Betong er ikke spesielt sterk for strekkrefter. For å bøte på dette er det utviklet spennbetong som er betong hvor armeringen, eller en del av den, er gitt en forspenning under støpingen; dvs. armeringsjernet er strammet i lengderetningen før utstøpning. Etter herdingen får betongen trykkrefter som utligner de strekkrefter som

opptrer ved belastning. Forspenningsmetoden gjør det mulig å redusere dimensjonene på konstruksjonene og mengden av armeringsjern.

Lettbetong er betong med tetthet under 2,0 kg/dm³. Lettbetong er spesielt interessant å bruke der det er nødvendig å spare vekt, f.eks. når det er dårlige grunnforhold eller når konstruksjonene skal flyte, permanent eller i byggefasen – som de norske betongkonstruksjonene i Nordsjøen.

Gjennom forbedring av sementkvaliteten og bruk av armering, fikk betong som byggemateriale sitt moderne gjennombrudd på andre halvdel av 1800-tallet.

I tiden etter andre verdenskrig har bruken av betong økt eksepsjonelt. Noe som grafen over produksjon av sement, den viktigste bestanddelen i betong, viser.



Kilde: Per Jahren / *Betong: historie og historier*



Farrisdammen i dag. Den opprinnelige betongdemningen kan ses til venstre for fossen. Foto: Byggeindustrien

Betongbruk i Norge

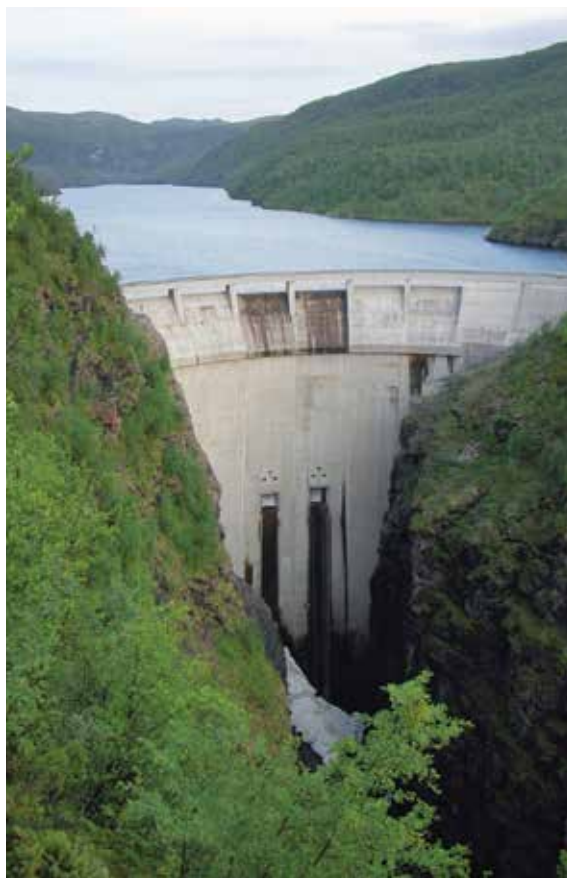
Norge var tidlig ute med bruk av betong. Det første kjente betongbygg er Farrisdammen ved Larvik som sto ferdig i 1765. Farrisvannet var forsøkt oppdemmet flere ganger tidligere. Alle forsøk hadde kollapset og flere ganger ført til oversvømmelser for byen Larvik og omegn. Da det i september 1760 ble foreslått å bruke en steindam med innslag av sement, var dette veldig radikalt. Materialet var mer eller mindre ukjent i Norge. Etter mange justeringer og problemer sto endelig dammen ferdig, tre ganger så dyr som det opprinnelige budsjettet.

Allerede i 1840-årene ble det produsert sement i Norge og bruk av betong skulle vise seg å få stor betydning for Norge som industriland og velferdsstat.

Norge er kjent for å ha mye nedbør og høye fjell. Vannet i høyfjellet utgjør et stort energipotensial i form av stillingsenergi. På sin vei mot havet er det fossefall som kan utnyttes til å lage fornybar energi i form av elektrisitet. Gjennom å kontrollere fossefallene for å produsere elektrisitet kunne industrien bygges ut. I 150 år har Norge brukt vannkraft for å dekke en stor del av energibehovet vårt.

De første elektriske lys i Norge ble tent i 1877 av Lisleby Brug ved Fredrikstad. Men det var først med ferdigstillingen av kraftverket til Senjens Nikkelverk i 1882 at vi fikk elektrisitet fra vannkraft. Dette var sannsynligvis også det første i sitt slag i Europa. De to største kraftverkene i Norge ligger i Rogaland. Fra omtrent 1960 til 1990 var mer enn 95 prosent av all elektrisk strøm som ble brukt i Norge produsert gjennom vannkraft. I 2016 er mer enn to tredeler av det totale energiforbruket dekket av vannkraft. Hvordan var det mulig å kontrollere de høye fossene og de store kreftene? Store dammer sørget for at vi fikk kontroll på vannet. Gjennom arbeidet med utforming og bygging av slike anlegg, har norske firmaer fått innsikt i og erfaring med betongens egenskaper.

Også andre land bruker oppdemming av elver for å kontrollere vannet og produsere elektrisitet. Verdens høyeste dam finner vi i Nurek i Tadsjikistan. Den er en jordfyllingsdam på 300 meter. Den høyeste betongdammen, Xiaowan-



Virdnejavri i Alta. Foto: BAIR

dammen i Kina, er på 292 meter. I 2012 var det registrert 37 641 store dammer (høyde over 15 meter) i verden, hvorav 332 var norske.

De største norske dammene er Virdnejavri i Alta, en 145 meter høy betongdam, og

Oddatjørndammen ved Blåsjømagasinet i Suldal som er 142 meter høy. Den siste er riktignok ikke bygget av betong, men er en steinfyllingsdam. I tiden før industrialisering og storskala virksomhet dominerte i stor grad tredammer og steinmurte dammer, eller en kombinasjon av disse materialer. Betongdammer dominerte så til midten av 1950-tallet. Da tok fyllingsdammer over. De består av komprimert jord, grus eller stein.

Fagområdet betong

Betong i dammer er et spennende fagområde. I tillegg til de rent tekniske utfordringene, gir det rom for skaperevne og dristighet i utforming og design. Flere norske ingeniørfirmaer og entreprenører har tatt med seg sine erfaringer ut i verden.

Den første betonghvelvdammen i Norge ble konstruert av Chr. F. Grøner i 1929. Det var dammen Storlivatnet nær Sauda i Rogaland. Den er 31 meter høy og 60 meter lang.

Flere av de moderne betongdammene er nesten som kunstverk å regne:

Et eksempel er den vakre Zakariasdammen i Tafjord på Sunnmøre. Demningen ble bygd i perioden 1967 til 1969 og fikk i 1976 arkitekturprisen «Betongtavlen» av Norsk Betongforening og Norske arkitekters landsforbund.



Zakariasdammen i Tafjord. Foto: Vidar Iversen



Oddatjønndammen. Foto: Statkraft



Førrevassdammen. Foto: Reinhardttheydt

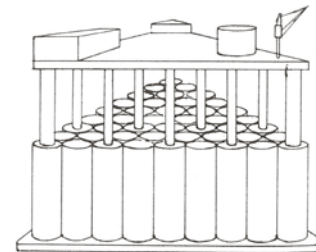
Førrevassdammen i Rogaland, bygd 1982 til 1986, er et annet eksempel. Med et volum på om lag 255 000 m³ er den Norges største betongdam. Den er omtrent 1300 meter lang. Denne dammen har også fått «Betongtavlen» (1989).

Fra vanndammer til oljeplattformer

De norske betongbyggerne med all sin erfaring fra bygging av dammer hadde høy kompetanse på kombinasjonen av store komplekse konstruksjoner og vann da det norske oljeeventyret startet. Da den norske oljehistorien for alvor startet med funnet av Ekofisk-feltet i 1969, var entreprenørene Høyer-Ellefsen og F. Selmer på banen med forslag om å lage kunstige øyer for lagring av olje med plass til boligmoduler og som landingsplattformer for helikoptre. Ideen utviklet seg videre og de to selskapene samarbeidet om konstruksjonen av de første betongunderstellene til plattformer i Nordsjøen. Samarbeidet ledet til opprettelsen av Norwegian Contractors (NC) sammen med Akergruppen.

Ekofisk-feltet var det første oljefeltet som kom i produksjon på norsk kontinentalsokkel, i 1971 startet produksjonen.

De første årene ble oljen lastet over i flytende tanker hvor tankskip kunne hente oljen via et spesielt lastesystem. Dette var avhengig av gode værforhold. For å kunne holde kontinuerlig produksjon også i dårlig vær var det nødvendig



Tidlige skisser til betongkonstruksjoner i Nordsjøen - Fra boken «På dypt vann»)

å kunne mellomlagre oljen til tankskip i en stor bunnfast lagertank.

Ekofisktanken ble konstruert nettopp for dette formålet. Tanken ble bygget av entreprenørselskapet Ing. F. Selmer etter fransk design. Den er ikke lenger i bruk som lagertank for olje, men vil bli stående på feltet til evig tid.

Det neste feltet som ble utviklet på norsk sokkel var Frigg. Her ble det brukt betong på tre av plattformene. To av dem var såkalte GBSer (Gravity Base Structures – plattformer som står fast på bunnen bare av sin egen tyngde). En av disse var en Condeep med lagercelle, det spesielle designet NC utviklet. Frigg-feltet produserte gass, og lagercellene ble ikke brukt slik hensikten egentlig var. Gass kan ikke lagres offshore på grunn av eksplosjonsfare. Men konstruksjonen



Ekofisktanken. Foto: Conoco Phillips/NOM

gjorde det mulig å bygge og utruste plattformen ved land og slepe den ut på feltet nesten helt ferdig. Dette betød at plattformene kunne bygges både billigere og raskere.

Det ble etter hvert mange plattformunderstell av betong på norsk sokkel – 15 i tallet. Den første

var TCP2 på Frigg-feltet og den siste var Troll A, plassert på feltet i 1996.

Den er det høyeste byggverk som er flyttet av mennesker i ferdig tilstand. Fra bunnen av betongkonstruksjonen til toppen av flammefløyten måler dette fantastiske bygget 472 meter.

Frigg-feltet i dag
Foto: Total E&P Norge/NOM



Illustrasjon (Artist Impression, Robert P. Johannesen)
av Frigg-feltet.



Statfjord A. Foto: Aker Mekanisk/NOM

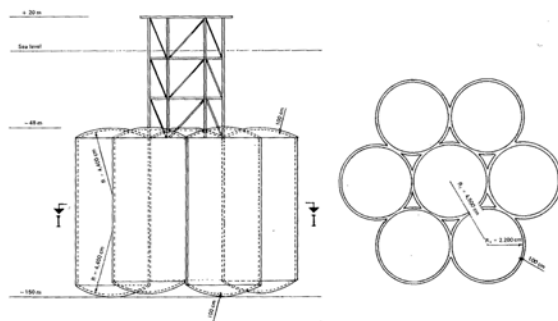


Gullfaks C er det tyngste byggverk som er bygget ferdig og flyttet. Den veide nesten 1,5 millioner tonn ved utslep.

På 1990-tallet ble det gjort funn av olje og gass på stadig dypere vann. Da ble det nødvendig med nye løsninger og det ble utviklet flytende alternativer.

Gullfaks C. Foto: Statoil





Illustrasjon fra boka «På dypt vann»

Heidrun er verdens første og eneste fast forankrede flytende betongplattform. Den ble satt i produksjon i 1995.

I 1993 ble Troll B-plattformen bestilt av Norsk Hydro. Denne ble bygget på Hanøytangen og er verdens eneste halvt nedsenkbare produksjonsplattformen av betong. Den ble også tatt i bruk i 1995.



Heidrun. Foto: Øyvind Hagen/Statoil

Det har blitt mange æresbevisninger for de som har vært med på utviklingen og bruk av betong i norsk oljeindustri.

I 1975 ble American Concrete Institute Medal (ACI) tildelt Knut Tovshus (den første lederen i NC) for fremragende innsats ved bygging av betongkonstruksjoner for produksjon og lagring av olje i Nordsjøen. Han var den første norske sivilingeniør som fikk en slik utmerkelse.

En annen av de viktige deltagerne i utviklingen av Condeep er Dr. techn. Olav Olsen. Han fikk i 1980 FIP (FIP - Fédération Internationale de la Précontrainte)-medaljen for sitt fremragende arbeid med betongkonstruksjoner.

I 1988 fikk selskapet NC tildelt Distinguished Achievement Award av Offshore Technology Conference (OTC). Prisen regnes som den høyeste utmerkelse innen internasjonal offshoreteknologi.

FIP Award for Outstanding Structures ble i 1990 tildelt Gullfaks C-plattformen, og i 1995 ble «Betongtavlen» tildelt Troll A-plattformen.

I 1994 ble Olav Olsen tildelt Gustave Magnels gullmedalje for beste design av en konstruksjon bygd i spennbetong. Prisen tilsvarer Nobelprisen innenfor dette fagområdet og den deles ut bare hvert 5. år. Han fikk prisen for Draugen-plattformen som står på 250 meters vandndyp

og som med sitt ene tårn er helt unik i verdenssammenheng.

Betongbroer

Betong er også et viktig element i utbygging av veinettet i Norge. Mange av våre vakre broer har kommet som et produkt av den kunnskapen og de kompetansemiljøene som utviklet seg gjennom de tjue årene betongplattformene var dominerende på den norske sokkelen.

Bergsøysundbrua er en flytebro og en del av Krifast, fastlandsforbindelsen til Kristiansund. Den flyter på syv pongtonger som er støpt i høyfast lettbetong. Broen var ved åpningen i 1992 verdens eneste flytebro uten sideforankring.

Dens unike konstruksjon førte til at den bare 16 år gammel, ble fredet av Riksantikvaren.

Helgelandsbrua ble prisbelønt i 1994 med «FIP – outstanding structures» – en høyt anerkjent betongpris. Den ble i 2010 kåret til Norges vakreste bro av Teknisk Ukeblads nettlesere.

Den nye broen som skal bygges over Bjørnafjorden i forbindelse med Ferjefri E39 blir verdens lengste hengebro. Den er bygd på prinsipper fra teknologi som ble utviklet for oljesektoren og blir designet av samme selskap som designet Draugen.

Bergsøysundbrua. Foto: Cato Edvardsen



Helgelandsbrua. Foto: Andreas Åkre Solberg





Forslag til bro over Bjørnafjorden
Illustrasjon: Statens Vegvesen

Forskning

Det er ikke bare å bygge. For å utvikle betong til nye anvendelsesområder, tåle mer og tilpasses til nye utfordringer, kreves forskning. Det er gjennomført flere studier for å vise at forskning på betong lønner seg. I en studie offentliggjort av Norsk Betongforening i 2001 ble det slått fast at en forskningskostnad på 900 millioner kroner hadde gitt en økt verdi på 17 000 millioner kroner for konstruksjoner som hadde benyttet seg av forskningsresultatene – altså omtrent 19 ganger forskningsinnsatsen!

Den største andelen av merverdien fra forsknings- og utviklingsarbeid tilfaller industriens kunder og samfunnet.

Entreprenørene, produsentene og leverandørene har først og fremst fått fordeler ved å bli mer



Vindmøller til havs. Illustrasjon: Dr. techn. Olav Olsen

effektive og konkurransedyktige og dermed kunne redusere prisene på sine varer og tjenester

Nye anvendelsesområder

Kunnskapen og kompetansen anvendes på stadig nye områder. I dag forskes det mye på å utnytte vind på åpne havstrekninger. Betong kan med fordel brukes, for eksempel til fundamenter til vindturbiner til havs.

Forskningsrådet har sammen med ulike forskningsmiljøer og industrien selv, gjennom



Forslag til flytende bydel i Singapore. Illustrasjon: Seastending Institute

de siste åtte år bevilget omtrent 320 millioner kroner på slik forskning. Det påstås av Norsk Betongforum at åtte tekniske nyvinninger innen betong anvendt på havvind kan skape verdier for 50 milliarder kroner i form av kostnadskutt og produktjonsforbedring.

Betong kan også brukes som byggemateriale for mange konstruksjoner som vil bidra med fornybar energi i framtiden – som for eksempel

flytende øyer med solpanel eller broer med tidevannsmøller i tillegg til fundamenter for vindturbiner både på land og til havs

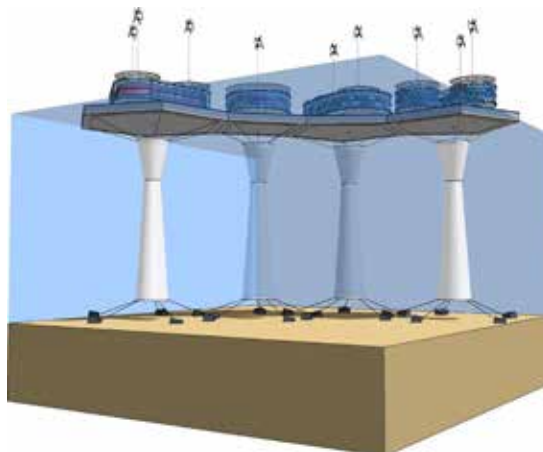
Hva med framtiden?

Norske forskningsmiljøer deltar allerede i dag i utvikling av konsepter for flytende byer.

Hvis oppvarmingen av jordkloden fører til at polisen smelter og havnivået stiger, er det bare å slakke litt på forankringen så er bydelene like hele!



Forslag til flytende by i Den arabiske gulfen.
Illustrasjon: The Seasteading Institute



Illustrasjon: The Seasteading Institute

Det har til og med blitt eksperimentert med bruk av månestøv for om mulig å kunne bygge bygninger i betong på vår nærmeste nabo i verdensrommet.

Også i planleggingen en kolonisering av Mars er betongkonstruksjoner veldig sentrale.

En av de store utfordringene vil være mangel på vann – men med boreteknologi utviklet i Norge kan man kanskje bore noen brønner?

Gammel kunnskap lever

Et flere tusen år gammelt materiale som ble utviklet av teknologer i Mesopotamia på slettene ved Eufrat og Tigris har vist seg også å være et anvendbart materiale i vår moderne industri.



Skisse til boligkvarter på månen, fra boken «Betong - Historie og historier.

Norske ingeniører har kombinert gammel kunnskap med oppfinnsomhet knyttet til lokale forhold for å temme fossene, bygge broer og til å

bygge store industrianlegg langt til havs. Kanskje kan betong hjelpe menneskene i erobringen av våre nærmeste naboer i solsystemet også?

Kilder:

Jahren, Per, Betong – Historie og historier, Trondheim 2011.

Bakken, Asbjørn, Farrisdammen – Et bidrag til sementens historie, 1959

NVE Rapport nr. 64 - 2013, Dammer som kulturminner, Norges vassdrag og energidirektorat, 2013

Norsk Betongforening Publikasjon 28 THE ADDED VALUE AND PROFIT OF CONCRETE R&D, Oslo 2001

Noter

1 Josvas bok, kapittel 6 til 8.