



fib Bulletin 107
over de geschiedenis
van beton

In maart 2023 is fib Bulletin 107 verschenen. Dit rapport geeft een overzicht van de ontwikkeling van cement en beton van de oudheid tot de 19e eeuw. Het bevat nuttige informatie, ook voor de huidige constructeurspraktijk.

***fib* Bulletin 107 is het eerste deel van een serie van drie over de geschiedenis van constructief beton.**

In het voorwoord staat de aanleiding mooi verwoord: “De analyse van ontwerpen uit het verleden is essentieel voor het conceptuele ontwerp van nieuwe constructies. Bovendien is historische kennis essentieel wanneer ingenieurs bestaande constructies beoordelen: een kritische analyse van de historie is essentieel voor de juiste constructieve beoordeling.”

Het doel van de driedelige serie is het vormen van een studieboek voor een semester van tien blokken van 1,5 uur. Hiertoe zijn tien hoofdstukken voorzien, waarbij elk hoofdstuk de lesstof voor een blok behandelt. De hoop van *fib* Task Group 1.6, die verantwoordelijk is voor de inhoud, is dat universiteiten een vak op het gebied van de geschiedenis van constructief beton gaan opnemen in hun curriculum.

Opbouw

Dit bulletin is chronologisch opgebouwd en bestaat uit vier hoofdstukken:

- 1 Het begin
- 2 Van de Romeinen tot de Renaissance
- 3 Bindmiddelen en cementen tijdens de achttiende en negentiende eeuw
- 4 Betonconstructies in de achttiende en negentiende eeuw

De bedoeling van de Taks Group is dat er nog twee *fib* bulletins (met elk drie hoofdstukken) worden uitgegeven voor de periode van de twintigste eeuw tot het heden.

auteur



IR. ROB VERGOOSSEN

Expert Bruggen
Royal HaskoningDHV
Voorzitter
Stufib vaste
commissie fib

Het begin

In verschillende delen van de wereld hebben onze voorouders vanaf ongeveer 10.000 voor Christus handgemaakte zongedroogde stenen gemaakt, op basis van de klei die volop aanwezig was bij de rivierbeddingen waar zij verbleven. Op veel plekken worden deze adobe stenen (in de zon gebakken klei) nog steeds gemaakt en toegepast. De stenen konden los worden gestapeld, maar werden vaak met ‘modder’ gestapeld en met een leemlaag afgesmeerd.

Tussen 9000 en 7000 voor Christus werd, waarschijnlijk bij toeval, gips (calciumsulfaat $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ontdekt. Door verwarming verliest gips water en vervalt het in poedervorm. Door toevoeging van water ontstaat een substantie die je kunt bewerken. Na droging wordt dit hard. Door deze ontdekking werd gips steeds vaker als mortel en/of pleisterwerk (bekleding) toegepast.

Zo'n 10 tot 20 millennia geleden werd ook ontdekt dat kalksteen (CaCO_3) bij verwarming (circa 1000 °C) overgaat in zogenoemde ongebluste kalk (CaO). Door toevoeging van water ontstaat calciumhydroxide (gebluste kalk $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Door reactie met CO_2 uit de lucht verhardt dit weer tot kalksteen (dit kennen we als de kalkdriehoek). Vanwege de beperkte hoeveelheid CO_2 in de lucht verloopt deze reactie traag. Maar toch werd kalk al in de vroege oudheid (zie Oude Testament – Deuteronomium 27 vers 2) en bij de Romeinen gebruikt.

De Feniciërs (rond Libanon en Syrië) zijn waarschijnlijk de uitvinder van hy- →

De Feniciërs zijn waarschijnlijk de uitvinder van hydraulische kalk

draulische kalk. Hydraulische kalk ontstaat door toevoeging van onder andere vulkanische as en gemalen gebakken klei aan ongebluste kalk. Hiermee ontstaat een betonachtig materiaal dat veel sneller uithardt en, in tegenstelling tot kalk, ook onderwater verhardt. Vulkanische as kwam in eerste instantie van het Griekse eiland Santorini, waar de Feniciërs rond 800 voor Christus kwamen. Hierdoor werd dit materiaal bekend als Santorini-soil. Via de Grieken is deze techniek waarschijnlijk aan de Romeinen overgedragen. Bij het plaatsje Puzzuoli, in de buurt van Napels in Italië, waren eveneens veel vulkanische assen beschikbaar, onder andere vanuit de vulkaan Vesuvius. Dit materiaal werd bekend als *pozzolana*. Tegenwoordig zijn natuurlijke puzzolanen vrijwel synoniem voor vulkanisch as.

Rondom Napels en Rome komt ook tufsteen voor. Als tufsteen gemalen wordt tot poeder, wordt dit tras genoemd. Tras heeft dezelfde hydraulische eigenschappen als vulkanische as. Op deze wijze zijn de eerste mortels en betonsoorten ontstaan.

Van de Romeinen tot de Renaissance

In het Romeinse rijk werd veel *opus caementitium* toegepast, gebaseerd op kalk en puzzolanen. Onder andere Vitruvius beschreef de productiewijze in zijn *‘De architectura, libri decem’* tussen 33 en 22 voor Christus.

Zowel kalk (de *calce*) als puzzolanen (de *putvere puteolano*) worden in zijn boek beschreven. Dit *opus caementitium* lijkt meer op betonnen metselwerk. Blokken (tuf)steen van een decimeter groot werden met hydraulische kalk aan elkaar gehecht. In eerste instantie vooral voor muren en torens. Later zijn er ook bruggen, aquaducten, koepels en gewelven mee gebouwd. Diverse voorbeelden van zijn nog (deels) intacte constructies worden gegeven in het bulletin. Waaronder een mooie beschrijving van het Pantheon (118 – 125 na Christus), dat uit zes verschillende soorten *opus caementitium* is opgebouwd (foto 1). *Opus caementitium* werd ook toegepast in wegen en in maritieme constructies. Dit laatste was mogelijk omdat het ook onderwater verhardt. Veelal werd het aangemaakt met zeewater, wat mogelijk was bij afwezigheid van wapening.

In het bulletin wordt diverse malen naar het ROMACONS-project [1] verwezen waar de bouwtechnieken van de Romeinen zijn nagemaakt.

In de renaissance is hernieuwde interesse in Vitruvius-boeken ontstaan. Door uitvinding van de boekdrukkunst zijn de technieken verder verspreid (fig. 2).

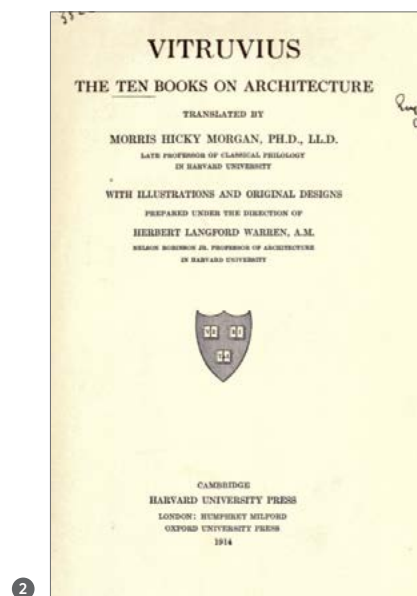
Bindmiddelen en cementen tijdens de 18e en 19e eeuw

Na een hernieuwde introductie van hydraulische kalk gebaseerd op Vitruvius-beschrijvingen, werd vanaf 1756 voor het eerst onderzoek gedaan naar het gedrag van dit materiaal en waarom dit onder water verhardt. Dit onderzoek werd uitgevoerd door John Smeaton. Hij ontdekte dat, in tegenstelling tot wat tot dan werd gedacht, juist een onzuivere kalksteen (met 6% tot 20% klei) betere resultaten gaf dan pure kalksteen. Ook ontdekte hij dat een combinatie van puzzolanen en tras tot betere resultaten dan alleen puzzolanen leidde. Tot 1867 werd de mengverhouding van het Eddystone Lighthouse (1759, fig. 3) voorgeschreven door de Britse regering.

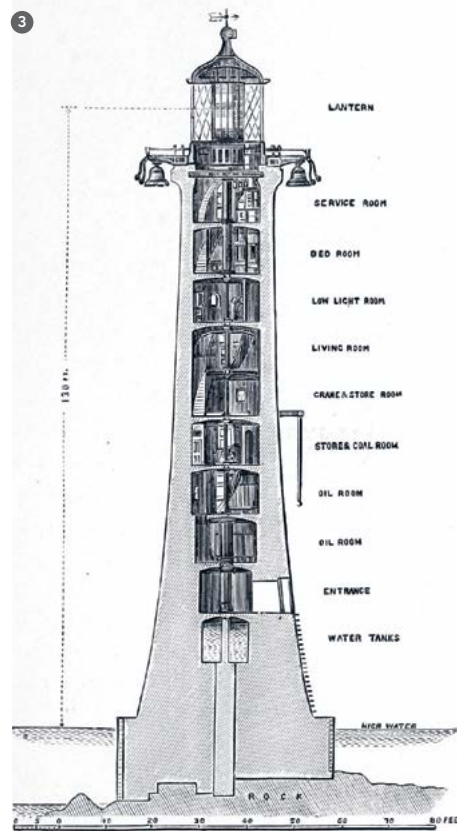
James Parker ontdekte en patenteerde zijn *Roman cement*, een gemalen poeder van gecalcineerde klei (verhit tot 800-1000°C) met sterke hydraulische eigenschappen, in 1796. Nadat zijn patent in 1810 afliep, ontstond een

FIB BULLETINS

Een aantal maal per jaar publiceert *fib international* een *fib Bulletin*. Dit zijn verschillende rapporten met bijvoorbeeld aanbevelingen, ontwerphandleidingen of state-of-the-art kennis over een specifiek onderwerp. Van de voor *Cement*-lezers meest relevante rapporten publiceren we een samenvatting, in samenwerking met de vaste commissie *fib* van *Stufib*.



In 1824 verkreeg Joseph Aspdin een patent voor portlandcement



levendige handel in dit materiaal en werd dit het bouwmaterial van de eerste helft van de 19e eeuw. Tijdens de Franse Revolutie en de Verlichting ontstond veel interesse

in onderzoek en praktische experimenten. Louis Joseph Vicat kreeg als jonge ingenieur de opdracht om een brug over de Dordogne te bouwen. Vanwege de uitdaging heeft hij vele onderzoeken op 15 verschillende kalksteenmortels uitgevoerd en gepubliceerd. Dit leidde tot de uitvinding van kunstmatige hydraulische kalksteen, een mengsel van gebrande kalksteen en gebluste kalk met klei.

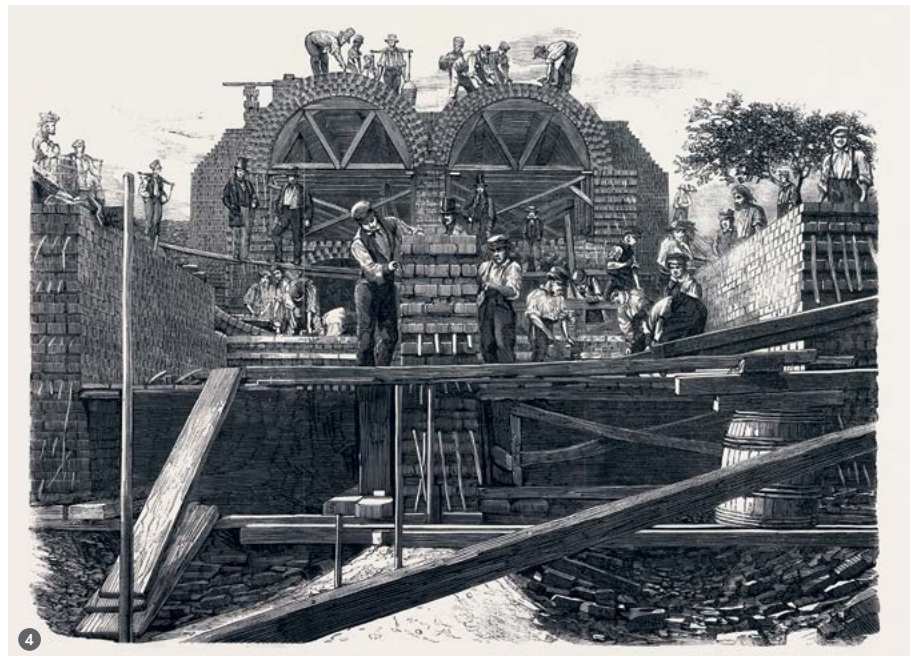
In 1824 (dit jaar 200 jaar geleden) verkreeg Joseph Aspdin een patent voor portlandcement, waarbij kalksteen met klei tot hoge temperaturen werd verhit en vervolgens afgekoeld. De samenstelling was anders dan het huidige portlandcement. De zoon van Aspdin verbeterde het portlandcement. Rond dezelfde tijd vond Isaac Johnson van concurrerend bedrijf J.B.White & Sons per ongeluk het geheim van portlandcement uit. Beide bedrijven lagen naast elkaar en door concurrentie en claims over en weer zorgde dit voor een verbetering van het cement. Deze portlandcementen waren ruim 2,5 keer zo sterk als het Romeinse *opus caementitium*. Vanaf het midden van de 19e eeuw, verspreidde dit portlandcement zich over Europa en Amerika. De grote doorbraak kwam bij bouw van The London Main Drainage (1850-1860) en de Thames Embankments (1869-1871) (fig. 4 en 5). →

VASTE COMMISSIE FIB

Om de link tussen *Stufib* en *fib* te stimuleren is binnen *Stufib* in 2022 de vaste commissie *fib* opgericht. Deze commissie volgt de ontwikkelingen binnen *fib* en informeert de *Stufib*-leden daarover. Ze inventariseert en selecteert onderwerpen waarvoor samenwerking kan worden opgezocht. Ook bewaakt ze de samenwerking tussen *Stufib*-studiecellen en *fib* Task Groups.

Zitting in de commissie hebben:

- dr.ir. Agnieszka Bigaj-Van Vliet
- ing. Ab van den Bos
- ir. Henco Burggraaf (namens bestuur *Stufib*)
- ir. Jasper Doorgeest (secretaris)
- ing. Ronald Klein-Holte
- ir. Thijs Pierik
- ir. Rob Vergoossen (voorzitter)
- dr. Mauro Poliotti



Voor studenten en jonge constructeurs is de informatie uit dit bulletin essentieel voor een goed begrip van de ontwikkeling van materialen en constructies



Voor verdere ontwikkeling was vooral de kwaliteitscontrole gedurende het productieproces van belang. Vooral door de Duitse invloed is een grote verbetering van de sterkte in enkele decennia mogelijk geworden.

Een belangrijk jaar voor portlandcement bleek 1887. Niet alleen werd de *rotary kiln* (een draaioven, foto 6) uitgevonden door Ransome, ook werd de Duitse standaard

voor portlandcement gepubliceerd die tot in de 20e eeuw de standaard bleef.

Francois Coignet legde de fundering voor monoliet, verdicht beton. Hij verkreeg meerdere patenten en ontwierp onder andere meerdere huizen volledig uit monoliet beton (Stationsmaster's house in Suresnes 1856), gevolgd door de kerk Le Vesinet in Parijs (1864) en het Aquaduc de la Vanne (1866-74, foto 7).





Joseph Tall patenteerde een verplaatsbare bekisting waarmee wanden van huizen konden worden gebouwd. Na twee huizen in Kent (1866), verkreeg hij opdracht van Napoleon III om 40 huizen te bouwen aan de Avenue Daumesnil.

Eugen Dyckerhoff, de zoon van Wilhelm Gustav die een cementfabriek bezat, kwam in dienst bij de betonproducent Lang & cie, een dochteronderneming van Dyckerhoff, die tanks, buizen en bestrating maakte van Dyckerhoff-cement. Samen met zijn schoonvader Gottlieb Widman veranderde hij de naam in Dyckerhoff & Widmann. Zij ontwikkelden het stampbeton, een stijf ongewapend beton, in lagen van 6 inch (15 cm) aangestampt. Dit bedrijf groeide sterk en bouwde diverse constructies.

Betonconstructies in de 18e en 19e eeuw

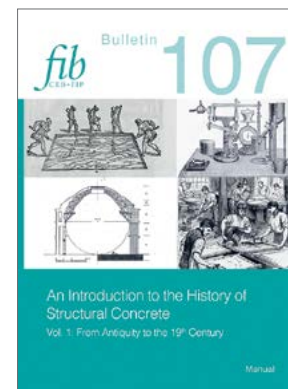
In het bulletin worden vele voorbeelden van vaak nog bestaande constructies gegeven, met diverse referenties en voorzien van beeldmateriaal.

Review

Voor studenten en jonge constructeurs is de informatie uit dit bulletin – en de volgende delen – essentieel voor een goed begrip van de ontwikkeling van materialen en constructies. Ook voor constructeurs, architecten en uitvoerenden die betrokken zijn bij de beoordeling van bestaande constructies bevat dit document waardevolle informatie.

In Nederland zijn vrij weinig bouwwerken aanwezig uit de periode dat dit deel behandelt. De volgende delen zijn hierdoor waarschijnlijk interessanter voor de Nederlandse praktijk.

Zeker met het oog op nieuwe duurzamere cementen is de historie van de ontwikkeling van het huidige beton interessant. Immers de ‘betonsoorten’ voor het portlandcement kenden een veel lagere CO₂-footprint. ●



FIB BULLETIN 107

fib bulletin 107 'An Introduction to the History of Structural Concrete; Vol. 1: From Antiquity to the 19th Century' (maart 2023) is geschreven door *fib* Task Group 1.6 (Manfred Cubach, Michel Moussard e.a.). Het bulletin is te koop op de website van *fib*: <https://doi.org/10.35789/fib.BULL.0107>

