

25.3.7.3 Romeins beton



In het midden van de 20e eeuw werden betonnen constructies ontworpen om 50 jaar mee te gaan. Nu ontwerpen we gebouwen die 100 tot 120 jaar trotseren. Romeinse haveninstallaties hebben 2.000 jaar chemische aantasting en golfslag onderwater overleefd. En zonder bewapening. Het is buitengewoon goed bestand tegen fragmentatie en bijna immuun voor de corrosie door zout water. 📖

Door gebrek aan grote opdrachten en een sterke centrale overheid raakte het gebruik van Romeins beton in onbruik. Smeaton's Tower in de jaren 1750 is een van de eerste grote post-Romeinse toepassingen van beton. Hij herontdekte het gebruik van hydraulische kalk, een vorm van het materiaal die onder water kon uitharden.

De Romeinen maakten beton door kalk en vulkanisch gesteente te mengen. Het verschil zit niet in de vulmiddelen (zand en steen(tjes)), maar in het bindmiddel: cement en/of de klinker.

Voor onderwater structuren werden kalk en vulkanische as gemengd om mortel te vormen, en samen met vulkanische tufsteen verpakt in houten vormen en in zee neergelaten. Het zeewater ging een chemische reactie hiermee aan. De kalk werd gehydrateerd en reageerde met de as om het geheel samen te cementeren.

Vitruvius, ingenieur bij keizer Augustus, en later Plinius de Oudere schreven dat de beste maritieme beton werd gemaakt met as uit vulkanische gebieden van de Golf van Napels in de buurt van Pozzuoli. As met dergelijke minerale eigenschappen, genaamd puzzolaanaarde 📖, is te vinden in vele delen van de wereld.

Het onderzoeksteam van Monteiro vond dat Romeinse beton op essentiële punten verschilt van de moderne soort. Het heeft meer toegevoegde aluminium en minder silicium.

Het Romeinse recept bevat minder dan 10 percent kalk (gewicht), en is gebrand op tweederde of minder (900°) van de temperatuur die vereist is voor Portlandcement (1.450°). Hierdoor is de productie minder milieubelastend.

Puzzolaan is reeds door de natuur (vulkanisch) gebrande aarde die veel aluminium bevat. In reactie met kalk vormt het Al-tobermoriet, dat een hoge sterkte en levensduur geeft. Herodes liet de haven van Caesarea bouwen met Romeins beton. Met stenen gevulde boten of bodemloze, dubbelwandige kratten werden afgezonken, en de stenen werden via bronzen buizen met beton overgoten.

Door de eeuwen heen reageerde het philipsiet in de puzzolaan met zeewater om tobermoriet te vormen. Dat is sterker dan modern beton. Er was een tsunami voor nodig om de haven te vernietigen.

Philipsiet: gehydrateerd natrium-kalium-calcium-aluminium-silicaat, dichtheid 2,2, hardheid 4-5. Behoort tot de zeolieten.

Tobermoriet: gehydrateerd calciumsilicaat. Dichtheid +2,4, hardheid 2,5.

👉 *Soms kan ik niet lachen met mijn eigen grappen, omdat ik ze niet snap.*

Zowel de materialen als de manier waarop de Romeinen ze gebruikten zijn duurzamer dan de onze. Puzzolaan kan 40 procent van 's werelds vraag naar Portlandcement vervangen.

En we gebruiken 19 miljard ton beton per jaar!

De precieze werkwijzen en samenstellingen zijn helaas echter na de val van het Romeinse rijk verloren gegaan.

In plaats van de kalk lang voor gebruik te mengen met water, voegden de Romeinen het water pas aan het einde toe. Bij het toevoegen van water komt warmte vrij, waardoor de droogtijd van het beton sterk werd verkort. (onderzoek Pompeï) Mogelijk geeft dit ook een positief effect?

De tombe van Caecilia Metella aan de Via Appia Antica (Rome – Brindisi) uit 30 voor Christus is een cirkelvormige mausoleum van 21 meter hoog en met een diameter van 29 meter. Het werd gebouwd van betonnen blokken, en verkeert nog in zeer goede staat. Onderzoekers van o.m. uUtah en MIT analyseerden (2021) de samenstelling van de mortel en (een deel(tje)? Van) het geheim van zeer duurzaam beton.

Admir Masic (MIT '22-'23) vindt dat de superieure kwaliteit van Romeins beton waarschijnlijk komt door ongebluste kalk direct heet te mengen met puzzolaan en water bij extreem hoge temperaturen. Dit zorgt voor andere, betere en meer bindingen, en alle reacties worden versneld.

De kalkklasten (📖 brokken) geven beton een opmerkelijk zelfherstellende vermogen. Water in scheurtjes reageert met kalk en verhardt daarin als calciumcarbonaat.

Het betonmortel is gemaakt van gehydrateerde kalk en tefra (pyroklasten, brokjes vulkanische as en gesteente). Het bondmiddel bevat calcium, aluminium en silicaat. Maar meer dan andere bouwsel ook aanzienlijk veel van het kalium-aluminium-silicaat mineraal leuciet (KAlSi_2O_6) dat rijk is aan kalium.

Door (regen- of grond)water lost het op en geeft het alle kalium vrij. Maar zo werd het kalium als onverwacht effect over de eeuwen aan de rest van het mortelmengsel toegevoegd en veranderde de chemische structuur. Het zo verhoogd bindend vermogen maakte de betonblokken beter bestand tegen scheuren, afbrokkelen, schuiven of loskomen. Leuciet zorgde voor de duurzaamheid van het graf.

♪ *Niets gelijkt méér op hetzelfde dan wat identiek is. nr Pierre Dac*