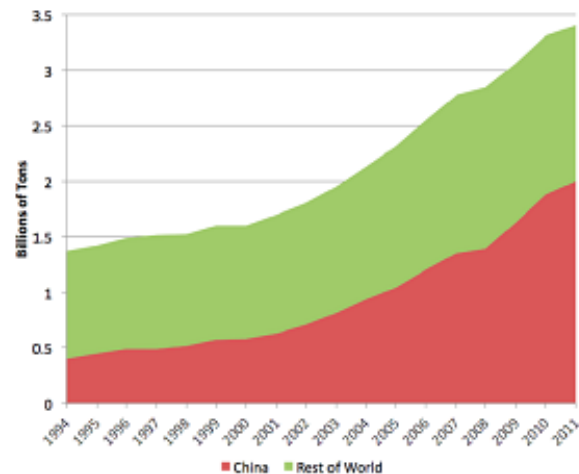
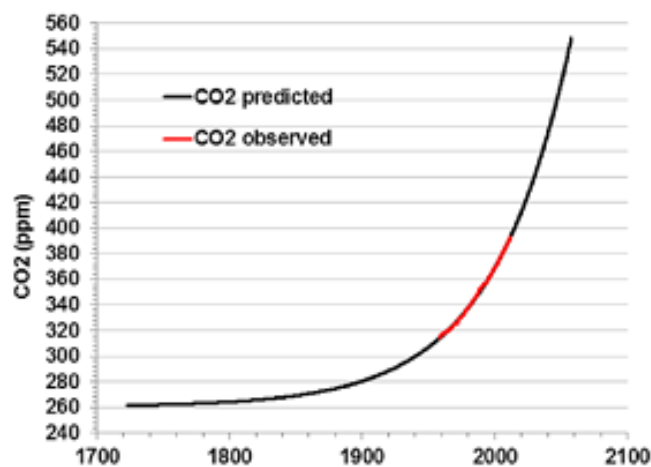


# Goedkoper en milieuvriendelijker beton, vanaf wanneer?

Wat als we beton veel goedkoper en milieuvriendelijker konden produceren? Op basis van de eerste twee woorden van de vraag zou je denken aan een komisch filmpje... Het antwoord op de vraag, en de cijfers daarachter, maken het echter eerder tragisch dan komisch.

Beton is het materiaal dat het vaakst gebruikt wordt in de bouwsector. Tegelijk is het één van de meest vervuilende materialen. De productie van cement, één van de vier basiscomponenten van een betonmengsel, is gigantisch. Ongeveer 6% van de globale CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt veroorzaakt door cementproductie. Bovendien produceren en verbruiken we steeds meer en meer cement, onder meer door de groei van China.



## Duurzamer beton, hoognodig

Er zijn verschillende mogelijkheden voor handen om de milieu-impact van beton in te perken. Een eerste is vrij basic: duurzamer beton. Hoe beter het beton, hoe minder snel we het moeten vervangen en hoe minder we moeten produceren. Andere opties focussen op het beperken van de milieu-impact van de componenten van beton, zijnde water, cement, zand en granulaten. Dat kan door ofwel bepaalde componenten minder te gebruiken ofwel door gebruik te maken van gerecycleerde materialen.

De milieu-impact van beton werd berekend met een Nederlands softwarepakket die een milieukostenindicator berekent, per m<sup>3</sup> beton. Hoe hoger de milieukostenindicator van een mengsel, hoe slechter voor het milieu. Daarnaast maakt de tool het ook mogelijk te kijken welke component van het beton de grootste impact heeft. Gebaseerd op deze tool, en zoals verwacht, bleek cement doorslaggevend. De hoeveelheid cement doen afnemen is de beste manier om de milieu-impact van beton te beperken.

## Hoe kan het?

Enkele mensen deden reeds research in deze richting. Francois De Larrard ontwikkelde het Compressible Packing Model (CPM). Dat is een theorie waarmee men kan berekenen hoeveel holle ruimtes (poriën) er zijn in een droog betonmengsel. Een droog betonmengsel bestaat traditioneel uit grove granulaten (kalksteen), fijne granulaten (zand) en cement. De verhouding tussen deze componenten en de karakteristieken van de componenten individueel bepalen de pakking. Deze is gerelateerd aan de hoeveelheid holle ruimtes. Sonja Fennis maakte van die theorie gebruik in haar doctoraat om een ecologisch beton te vervaardigen.

Sonja Fennis optimaliseert en ontwerpt ecologische betonmengsels gebaseerd op een cyclische ontwerpprocedure, bestaande uit drie stappen. In een eerste stap optimaliseert ze de pakking. Een toename van de pakkingsdichtheid leidt tot minder holttes. Zo is er bij een zelfde dosering water, meer water op overschot. Daardoor neemt de vloeibaarheid/verwerkbaarheid toe. In een tweede stap wordt deze toegenomen verwerkbaarheid tenietgedaan door de hoeveelheid water te verminderen. Minder water in een betonmengsel resulteert in een sterker beton. In een derde stap wordt, gebaseerd op de sterkte winst door de reductie aan water, de hoeveelheid cement verminderd. Op die manier verkrijgt men een beton met een zelfde sterkte en verwerkbaarheid als het referentiebeton, met een beperktere hoeveelheid cement. Dit is de economische en de ecologische winst.



Het Compressible Packing Model maakt het mogelijk om aan pakkingsoptimalisatie te gaan doen. Door de onderlinge verhoudingen tussen de vaste stoffen (zand, kalksteen en cement) te wijzigen, wijzigt de pakking. Het doel is om zo min mogelijk holle ruimtes te hebben. Dit is equivalent met een maximale pakking. Zo is er minder water nodig om het geheel voldoende verwerkbaar te maken. Bekijk het fenomeen pakking als volgt: de pakking van knikkers zal beter zijn dan van tennisballen (minder holle ruimtes). Bovendien zal de pakking van een wel bepaalde hoeveelheid knikkers en tennisballen samen nog beter zijn dan mochten er enkel knikkers gepakt worden. De vraag is echter: welke verhouding hebben we daarbij nodig?

## Concreet uitgevoerde proeven

Aan de hand van proefondervindelijk bepaalde karakteristieken (korrelverdeling en pakking) van het zand en de kalksteen, en een berekeningstool gebaseerd op het Compressible Packing Model, is het mogelijk de meest optimale verhouding tussen de granulaten te bepalen. Het cement werd niet meegenomen in deze optimalisatie omdat men dan gevangen zit in een cyclische procedure: in de laatste stap wordt het cementgehalte gereduceerd en wijzigt de pakking opnieuw.

Bovenstaande theorie werd getest op een traditioneel beton bestaande uit twee zanden en twee kalkstenen (mix 1). Een pakkingsoptimalisatie resulteerde in een gewijzigde samenstelling van het betonskelet waarbij enkel het grove zand en het grove kalksteen nog werden gebruikt. Het beton geproduceerd volgens deze geoptimaliseerde granulatenverhouding resulteerde in een toegenomen verwerkbaarheid. De gereduceerde waterhoeveelheid voor het betonmengsel in stap 2 werd berekend aan de hand van een verband tussen de werkbaarheid en de pakking, gevonden door Sonja Fennis.

	Mix 1			Mix 10	
	[m³]	[kg]		[m³]	[kg]
CEM	0.112	336.0	CEM	0.103	309.2
Water	0.166	166.0	Water	0.146	145.8
6.3/20	0.283	761.0	6.3/20	0.377	1013.4
2/6.3	0.094	251.5	2/6.3	0	0
0/4	0.194	499.3	0/4	0.342	881.0
0/2	0.129	339.3	0/2	0	0
Tixo	0.002	2.568	Tixo	0.002	2.565
Air	0.020	-	Air	0.020	-
Sum	1	2355.7	Additional	0.010	26.4
			Sum	1	2378.4
			Remark		LP

De sterkte winst door de waterreductie van dat mengsel bedroeg zo'n 7%, vergeleken met het referentiemengsel. Een gevonden vuistregel is dat men de hoeveelheid cement dan met een zelfde percentage kan verminderen. In een derde en laatste stap werd er dus 7% van de cementhoeveelheid vervangen door diverse vulmaterialen (mix 10). Het mengsel met kalksteenmeel (LP – Limestone Powder) bleek daarin het best te scoren. Met 7% minder cement haalde het mengsel een zelfde sterkte

	Mix 1	Mix 10
Slump [cm]	0.5	4.0
Strength 7d [N/mm²]	58.0	57.9
Strength 28d [N/mm²]	68.0	65.1
Water absorption [%]	4.26	4.42
Resistivity [ $\Omega$ m]	0.42	0.51

en verwerkbaarheid als het referentiemengsel. Twee proeven die gekend staan als een duurzaamheidsindicator wezen ook op een verbetering van de duurzaamheid van het geoptimaliseerde mengsel. Dat betekent dus dubbele winst.

## Conclusie, visueel en in cijfers



Voor het geoptimaliseerde mengsel was er slechts 310 kg cement nodig in plaats van 335 kg per m³ beton. Afgerond betekent dit dat er slechts 12 zakken cement nodig zijn in plaats van 13, voor één m³ beton. Dit resulteerde in een afname van de milieukostenindicator met 7%. De economische kost bleef quasi dezelfde. Aangezien er in België jaarlijks 16 miljoen m³ beton gemaakt wordt, dan betekent dit dat we grof gerekend 400 000 ton cement kunnen besparen. Dat staat voor een besparing van 32 miljoen euro, 1.6 miljoen GJ en 400 000 ton CO<sub>2</sub>...

De mogelijke winsten/besparingen zijn dus gigantisch. Maar er is nog meer. Mocht hier nog verder onderzoek naar gedaan worden, dan zou het absoluut mogelijk moeten zijn om nog extra winst te halen. Dat dit onderzoek de ogen mag openen en kan leiden tot goedkoper en milieuvriendelijker beton. Alle beetjes helpen immers het milieu.