

Opwaarderen van granulaten via CO₂ behandeling

Studie in het kader van: Living Lab Circulair Beton
Met de steun van: VLAIO, NextGenerationEU,
Vlaanderen Circulair
December 2025

Opwaarderen van granulaten via CO₂ behandeling

VITO

Boeretang 200

2400 MOL

Belgium

BTW No: BE0244.195.916

vito@vito.be – www.vito.be

IBAN BE34 3751 1173 5490 BBRUBEBB

Jef Bergmans

Onderzoeker

014 335616 / jef.bergmans@vito.be

Yury Villagran Zaccardi

Onderzoeker

yury.villagranzaccardi@vito.be

INHOUDSTAFEL

Inhoudstafel	I
1 Inleiding	1
2 Verdere opschaling	3
2.1 Carbonatietesten bij Orbix	3
2.2 Carbonatietesten bij Devagro	4
literatuurlijst	5

1 INLEIDING

De belangrijkste belemmeringen voor het gebruik van gerecycleerde betongranulaten in nieuw beton zijn de variabiliteit in de samenstelling van de betongranulaten en een hogere waterabsorptie in vergelijking met natuurlijke granulaten [1]. De variabiliteit in de samenstelling van de gerecycleerde granulaten kan worden aangepakt door een verbeterde waardeketen van sloop tot nieuw product. Door tijdens de sloopfase een hoogwaardige betonfractie apart te houden en dit hoogwaardige beton te verwerken tot hoogwaardige betongranulaten voor nieuwe betonproducten, wordt de kwaliteit gewaarborgd.

De verhoogde waterabsorptie van betongranulaten kan een negatieve invloed hebben op de prestaties van het betonmengsel [2]. De hogere waterabsorptie zal de verwerkbaarheid van het beton verminderen en daardoor de waterbehoefte verhogen. Het verhogen van de hoeveelheid water in het betonmengsel kan echter nadelige gevolgen hebben. De water/cementverhouding (w/c-verhouding) van beton is een belangrijke indicator voor de sterkte en verwerkbaarheid ervan.

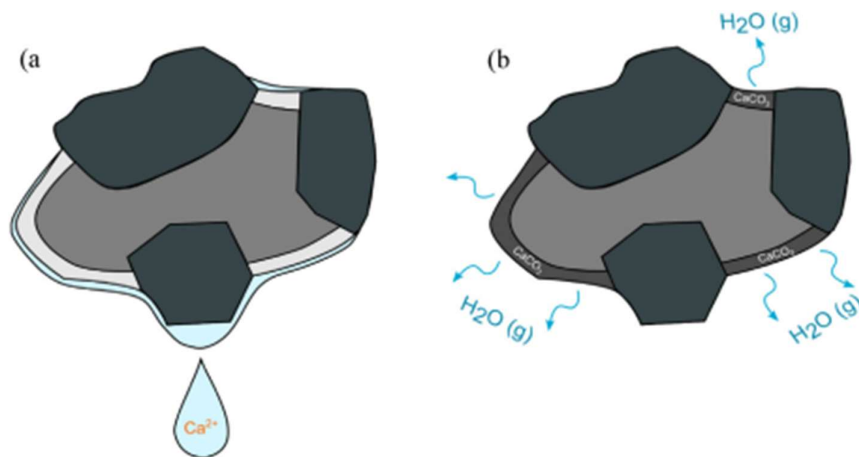
Een hoge waterabsorptie is gekoppeld aan de aanwezigheid van aangehechte mortel aan de gerecycleerde natuurlijke granulaten. Een andere factor zijn de luchtporiën en capillaire poriën in de overgangszone tussen natuurlijk granulaat en cementmatrix [3]. De waterabsorptie kan minder dan 1% bedragen voor natuurlijke aggregaten, terwijl deze voor gerecyclede aggregaten tot 10% kan oplopen [4].

Om een hoger vervangingspercentage van hoogwaardig gerecycleerd betongranulaat in beton mogelijk te maken, hebben onderzoekers verschillende methoden voorgesteld om de waterabsorptie en oppervlakte-eigenschappen van betongranulaten te verbeteren. Shi et al. (2016) hebben verschillende in de literatuur gerapporteerde behandelingstechnieken beoordeeld [5]. De auteurs stelden dat de carbonatatiemethode een efficiënte, haalbare en milieuvriendelijke methode is om de eigenschappen van gerecycleerde betongranulaten te verbeteren. Tijdens de carbonatie van betongranulaten, zal CO_2 reageren met de calcium- en magnesiumhoudende hydratatieproducten (bv. portlandiet, calciumsilicaathydraten) in de uitgeharde cementpasta en kunnen stabiele fasen zoals calcië gevormd worden. In het geval van portlandiet leidt carbonatie tot een toename van 11%.12% in vast volume [6]. Dit kan worden gecorreleerd aan een afname van de porositeit en densificatie van de oude cementmatrix en een toename van de mechanische sterkte van het gerecycleerde betongranulaat [7, 8].

De carbonatie van gerecycleerd betongranulaat krijgt steeds meer aandacht vanwege de positieve invloed ervan op de fysische en mechanische eigenschappen van het betongranulaat (bv. betere slijtageweerstand, hogere elasticiteitsmodulus) [7, 9, 6, 10] en beton geproduceerd met dit betongranulaat (betere verwerkbaarheid, hogere druksterktes, betere duurzaamheid) [11, 7, 9, 12, 13]. Bovendien zijn minerale carbonatatiemethodes een manier om afgevangen CO_2 te benutten en voor een lange periode op te slaan.

De bestaande literatuur geeft aan dat de CO_2 -concentratie, gasdruk, omgevingstemperatuur en relatieve luchtvochtigheid, carbonisatietijd en de vochtigheidsgraad van het aggregaat de bepalende carbonisatiefactoren zijn. De meeste bestaande literatuur richt zich op onderzoek naar carbonisatie onder (bijna) omgevingsdruk. Optimale condities zijn een relatieve luchtvochtigheid van 50%-70%, een CO_2 -concentratie van 20% of hoger en een carbonatietijd van 3-24 uur [14, 15, 13, 16, 17].

Ook het vochtgehalte van de gerecycleerde betongranulaten is belangrijk. De aanwezigheid van overtollig water in de poriën (volledig gevulde poriën) kan leiden tot een verminderde carbonatatie-efficiëntie. Naast het deels blokkeren van de poriën voor CO_2 diffusie, kan overtollig water ook leiden tot de verwijdering van opgeloste Ca-ionen uit de poriën, en het vormen van calciumcarbonaatneerslag aan de buitenranden van de poriën of als aparte fijne calciumcarbonaatfractie. Dit kan zelfs leiden tot het verhogen van de porositeit en waterabsorptie van gecarbonateerde betongranulaten (Figuur 1). Maar ook volledig droge granulaten leiden niet tot de gewenste carbonatatiegraad, aangezien een kleine hoeveelheid water (CO_2 in opgeloste vorm) nodig is om de carbonatatiereactie te starten [18, 13]. De relatieve luchtvochtigheid en het watergehalte van de betongranulaten vormen een synergetisch effect: bij een hoge luchtvochtigheid zijn de granulaten best wat droger, en vice versa.



Figuur 1: Dit voorgestelde Ca-transport mechanisme verklaart a) de porositeitsverhoging van gecarbonateerde betongranulaten bij overtollig water en b) het sluiten van bestaande poriën door calciumcarbonaatneerslag onder de juiste omstandigheden [19].

Fernandez Bertos et al. (2004) stellen dat, hoewel de CO_2 -opname toeneemt met een stijging van de temperatuur tot 60°C , vanwege het exotherme karakter van de carbonatatiereactie, een hogere temperatuur de vorming van metastabiele vormen van calciumcarbonaat bevordert. De stabielere vormen van calciumcarbonaat zullen zich bij veel lagere temperaturen ($0-10^\circ\text{C}$) vormen [20]. Het behalen van de geschikte luchtvochtigheid (50%-70%) is dan weer eenvoudiger bij licht verhoogde temperaturen. Gezien de exotherme carbonatatiereactie van een groot volume betongranulaten lijkt verwarming/koeling niet nodig in industriële toepassingen.

In het kader van het Horizon Europe project ICEBERG¹ werden door VITO gerecycleerde betongranulaten afkomstig van een Colruyt supermarkt gecarbonateerd bij Orbix NV. De carbonatatie werd uitgevoerd bij omgevingsdruk, een relatieve vochtigheid van 60% en 30% CO_2 voor 24 uur. Tijdens deze demonstratie werden de betongranulaten uitgespreid in een dunne laag alvorens ze werden gecarbonateerd. Door het carbonatatieproces werd 32 kg CO_2 vastgelegd per ton gecarbonateerd betongranulaat. Gebruik van gecarbonateerde betongranulaten in nieuw beton leverde een verbeterde druksterkte op in vergelijking met niet-gecarbonateerde granulaten [21]. Beton met 50% vervanging van de grove granulaatfractie door gecarbonateerde betongranulaten werd door AC Materials gebruikt in funderingsbeton (EE2, C25/30) bij de bouw van een nieuwe Colruyt supermarkt.

¹ <https://iceberg-project.eu/>

2 VERDERE OPSCHALING

2.1 Carbonatatietesten bij Orbix

Voor een verdere industriële opschaling is het belangrijk dat de carbonatatietechnologie kan worden uitgevoerd op grotere hoeveelheden aan gerecycleerd betongranulaat. Waar voorgaand onderzoek zich richtte op de carbonatatie van kleinere stalen en/of betongranulaat in een dunne laag, voerde VITO bij Orbix carbonatatieproeven uit waarbij het materiaal in een bigbag werd gecarbonateerd onder dezelfde omstandigheden als in het ICEBERG project. Hierbij is het van belang dat CO₂ zich voldoende tussen de betongranulaten kan verspreiden zodat het ook het midden van het bigbag materiaal kan bereiken.

Hoogwaardig betongranulaat A+ (4/16) van Devagro werd op deze manier gecarbonateerd. Door carbonatie werd ongeveer 25 kg CO₂ per ton betongranulaat vastgelegd. De waterabsorptie van dit granulaat daalde licht door carbonatatie (van 3.41%±0.15 naar 3.29%±0.04). Ook hoogwaardig betongranulaat A+ (4/22) van AC Materials werd op deze manier gecarbonateerd. Door carbonatie werd ongeveer 11 kg CO₂ per ton betongranulaat vastgelegd. De waterabsorptie van dit granulaat daalde significant door carbonatatie (van 4.80%±0.16 naar 3.99%±0.06). Niet alleen daalde de waterabsorptie van beide stalen met carbonatatie, maar ook de spreiding op de resultaten werd kleiner.

Van beide granulaten werden betonstalen (C25/30) geproduceerd, maar het geproduceerde beton met gecarbonateerde granulaten vertoonde geen significante verbetering ten opzichte van het beton met niet-gecarbonateerde gerecycleerde granulaten (50% vervanging de grove fractie door gerecycleerde granulaten). Hierbij dient te worden opgemerkt dat 50% vervanging van de grove granulaatfractie door gerecycleerde granulaten geen negatieve invloed had op de kwaliteit van het beton (druksterkte, carbonatati weerstand, vorst-dooi weerstand). Hogere vervangingspercentages zijn dus nodig om de invloed van carbonatatie te bestuderen. De gecarbonateerde betongranulaten van Devagro werden door CRH gebruikt voor de productie van een prefab betonpaneel (Figuur 2).



Figuur 2: Prefab betonpaneel, geproduceerd met 50% vervanging van de grove granulaatfractie door gecarbonateerd betongranulaat (CRH).

2.2 Carbonatietesten bij Devagro

In 2025 bouwde Devagro zijn eigen carbonatatie-infrastructuur (Figuur 3), met als doel om hun gerecycleerde betongranulaten te carbonateren. VITO analyseerde 2 verschillende betongranulaatfracties van Devagro, voor en na carbonatatie (24 uur) door de Devagro carbonatatie-infrastructuur: betongranulaat 0/6 en betongranulaat 4/20.

Het betongranulaat 0/6 nam ongeveer 10 kg CO₂ op per ton betongranulaat. De waterabsorptie van dit granulaat leek echter licht toe te nemen door carbonatatie (van 4.12%±0.19 naar 4.28%±0.04). Ook bij het betongranulaat 4/20 (opname van 14 kg CO₂ per ton betongranulaat) werd een lichte toename in waterabsorptie geregistreerd (van 4.04%±0.07 naar 4.22%±0.11).

Deze lichte toename in waterabsorptie lijkt tegenstrijdig met de waarnemingen van Devagro tijdens betonproductieproeven met gecarbonateerde granulaten: hier werd een verbeterde verwerkbaarheid gemeten bij gecarbonateerde granulaten werden gebruikt dan bij het gebruik van niet-gecarbonateerde granulaten. De granulaatstalen die door VITO werden geanalyseerd werden echter eind oktober gecarbonateerd. Oktober was een natte maand met een totaal van 21 neerslagdagen. Zoals voorheen aangegeven, is het vochtgehalte van de gerecycleerde betongranulaten belangrijk. De grote neerslaghoeveelheden in oktober hebben geleid tot een hoog watergehalte in de granulaten voor carbonatatie. In combinatie met een hoge luchtvochtigheid (gemiddeld 86%) leidt dit tot een verminderde carbonatatie-efficiëntie en eventueel zelfs tot een verhoging van de waterabsorptie van de gecarbonateerde granulaten. Verder kan overtollig water ook beletten dat CO₂ binnendringt tot in het midden van de granulaathoop.

Met Devagro werden verbeteracties besproken om in de toekomst het watergehalte van de te carbonateren granulaten beter onder controle te houden (bv. installatie afdak). Dit moet in de toekomst leiden tot een verbeterde en constantere kwaliteit van de door hen gecarbonateerde granulaten.



Figuur 3: Carbonatatie-infrastructuur Devagro².

² <https://devagro.be/nieuws/devagro-pioniert-met-co2-neutraal-stortbeton-in-belgi%C3%AB>

LITERATUURLIJST

- [1] R. Cardoso, R. Vasco Silva, J. de Brito & R. Dhir, "Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review," *Waste Management*, pp. 131-145, 2016.
- [2] M. Quattrone, B. Cazacliu, S. Angulo, E. Hamard & A. Cothenet, "Measuring the water absorption of recycled aggregates: What is the best practice for concrete production?," *Construction and Building Materials*, 2016.
- [3] L. Basheer, J. Kropp & D. Cleland, "Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: A review," *Construction and Building Materials*, 2001.
- [4] Z. Sierens, L. Vandewalle, M. Joseph & L. Boehme, "Water absorption variability of recycled concrete aggregates," *Magazine of Concrete Research*, 2015.
- [5] C. Shi, Y. Li, J. Zhang, W. Li, L. Chong & Z. Xie, "Performance enhancement of recycled concrete aggregate - A review," *Journal of Cleaner Production*, 2016.
- [6] J. Zhang, C. Shi, Y. Li, X. Pan, C. Poon & Z. Xie, "Influence of carbonated recycled concrete aggregate on properties of cement mortar," *Construction and Building Materials*, 2015.
- [7] D. Xuan, B. Zhan & C. Poon, "Assessment of mechanical properties of concrete incorporating carbonated recycled concrete aggregates," *Cement and Concrete Composites*, 2016.
- [8] B. Zhan, C. Poon, Q. Liu, S. Kou & C. Shi, "Experimental study on CO₂ curing for enhancement of recycled aggregate properties," *Construction and Building Materials*, 2014.
- [9] C. Liang, B. Pan, Z. Ma, Z. He & Z. Duan, "Utilization of CO₂ curing to enhance the properties of recycled aggregate and prepare concrete: A review," *Cement and Concrete Composites*, 2020.
- [10] S. Kou, B. Zhan & C. Poon, "Use of a CO₂ curing step to improve the properties of concrete prepared with recycled aggregates," *Cement and Concrete Composites*, 2104.
- [11] L. Li, C. Poon, J. Xiao & D. Xuan, "Effect of carbonated coarse aggregate on the dynamic compressive behavior of recycled aggregate concrete," *Construction and Building Materials*, 2017.
- [12] N. Russo & F. Lollini, "Effect of carbonated recycled coarse aggregates on the mechanical and durability properties of concrete," *Journal of Building Engineering*, 2022.
- [13] Y. Pu, L. Li, Q. Wang, X. Shi, C. Luan, G. Zhang, L. Fu & A. El-Fatah Abomohra, "Accelerated carbonation technology for enhanced treatment of recycled concrete aggregates: A state-of-the-art review," *Construction and Building Materials*, 2021.
- [14] C. Poon, P. Shen, Y. Jiang, Z. Ma & D. Xuan, "Total recycling of concrete waste using accelerated carbonation: A review," *Cement and Concrete Research*, 2023.
- [15] M. Sereng, A. Djerbi, O. Metalssi, P. Dangla & J. Torrenti, "Improvement of Recycled Aggregates Properties by Means of CO₂ Uptake," *Applied Sciences*, 2021.
- [16] A. Morandeau, M. Thiéry & P. Dangla, "Investigation of the carbonation mechanism of CH and C-S-H in terms of kinetics, microstructure changes and moisture properties," *Cement and Concrete Research*, 2014.
- [17] K. Liu, W. Xu, D. Sun, J. Tang, A. Wang & D. Chen, "Carbonation of recycled aggregate and its effect on properties of recycled aggregate concrete: A review," *Materials Express*, 2021.
- [18] B. Zhan, C. Poon, Q. Liu, S. Kou & C. Shi, "Experimental study on CO₂ curing for enhancement of recycled aggregate properties," *Construction and Building Materials*, 2014.

- [19] A. Gholizadeh-Vayghan, A. Bellinkx, R. Snellings, B. Vandoren & M. Quaghebeur, "The effects of carbonation conditions on the physical and microstructural properties of recycled concrete coarse aggregates," *Construction and Building Materials*, 2020.
- [20] M. Fernandez Bertos, S. Simons, C. Hills & P. Carey, "A review of accelerated carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO₂," *Journal of Hazardous Materials*, 2004.
- [21] J. Bergmans, H. Kazemi Kamyab, D. Ghosh, P. Van Mierloo, H. Carens & P. Nielsen, "Carbonation of Recycled Concrete Aggregates for New Concrete and Concrete Fines to Make Cement-Free Hollow Blocks," *Sustainability*, 2024.

**vision on technology
for a better world**

