

KUNNEN VERHARDINGEN VAN GEOPOLYMEERBETON BIJDAGEN AAN EEN MILIEUVRIENDELIJKE EN DUURZAME TOEKOMST?

J. de Vrieze
Cement&BetonCentrum, Nederland
jeroen.devrieze@cementenbeton.nl

W.A. Kramer
Betonkennisdrager, Nederland
remark.wa@gmail.com

ABSTRACT

In deze paper wordt onderzocht in hoeverre geopolymeerbeton kan bijdragen aan de verdere verduurzaming van onze infrastructuur. De impact wordt onderzocht op 4 gebieden: beschikbaarheid van grondstoffen, eigenschappen, circulariteit en ervaringen bij toepassing in (weg)infrastructuur.

Ook wordt er een korte introductie gegeven over geopolymeerbeton.....

TREFWOORDEN

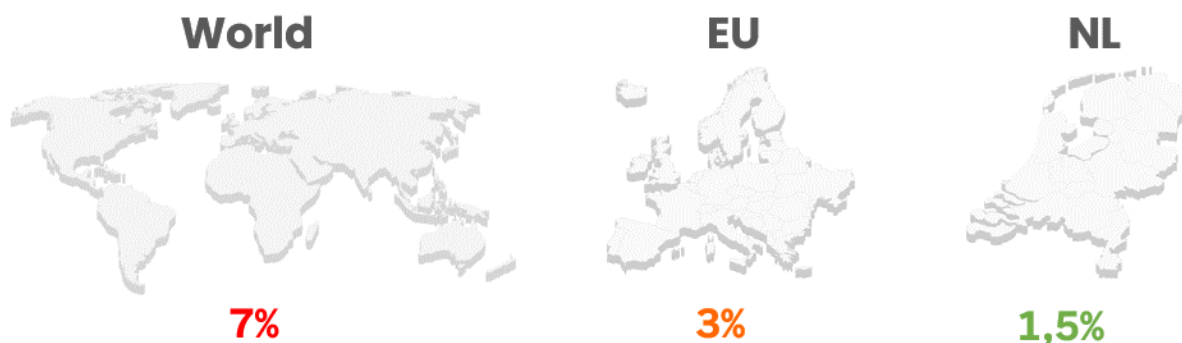
GEOPOLYMEER / CO₂-REDUCTIE / ALTERNATIEF BINDMIDDEL

1. INTRODUCTIE

In Nederland, net als in de rest van de wereld, is men voortdurend op zoek naar manieren om de CO₂-voetafdruk te verkleinen. Binnen het (wegen)bouwproces wordt dan snel gekeken naar mogelijkheden om de CO₂-uitstoot van beton, en cement in het bijzonder, nog verder te reduceren. 'Om nog verder te reduceren' omdat Nederland al decennialang wereldwijd koploper is in het toepassen van CO₂-arme cementen (afbeelding 1).

De huidige CO₂-besparing in het gebruikte cement wordt voornamelijk gerealiseerd door:

- Hoog aandeel hoogovenslakcement
- Gebruik van vliegashoudend cement en alternatieve brandstoffen/grondstoffen
- Vervoer over water



Afbeelding 1 Vergelijking aandeel cement in relatie tot totale CO₂-uitstoot

Binnen de zoektocht naar een reductie van het CO₂-profiel van beton ligt de focus vooral op bindmiddelen met een laag CO₂-profiel. Geopolymeerbeton wordt in Nederland steeds meer gezien als 'de oplossing' om het CO₂-profiel van beton aanzienlijk te verlagen. (Aangezien het aandeel van materialen, en cement in het bijzonder, relatief groot is in de

duurzaamheidsimpact van beton, zal een vermindering van het aandeel van deze grondstoffen een vermindering van de impact betekenen (afbeelding 4))

Naast een veel gunstiger milieuprofiel zou het technisch gezien hetzelfde, of beter presteren dan gewoon beton. (Een bewering die in dit artikel zal worden beoordeeld op basis van praktijkervaringen).

Het overgrote deel van de artikelen over geopolymeerbeton, veelal van universiteiten en onderzoeksinstituten, is positief over dit materiaal. De toepassing is echter nog zeer beperkt, iets dat vooral te wijten is aan het gebrek aan regelgeving volgens velen. Er zijn echter meer redenen waarom geopolymeerbeton (nog) niet op grote schaal wordt toegepast. In deze paper worden de milieuaspecten en eigenschappen van geopolymeerbeton besproken, kijken we naar de belemmeringen voor opschaling en rapporteren we over de uitgebreide ervaring die is opgedaan met geopolymeerbeton binnen de 'in-situ' (weg)infrastructuur.

2. GEOPOLYMEER BETON

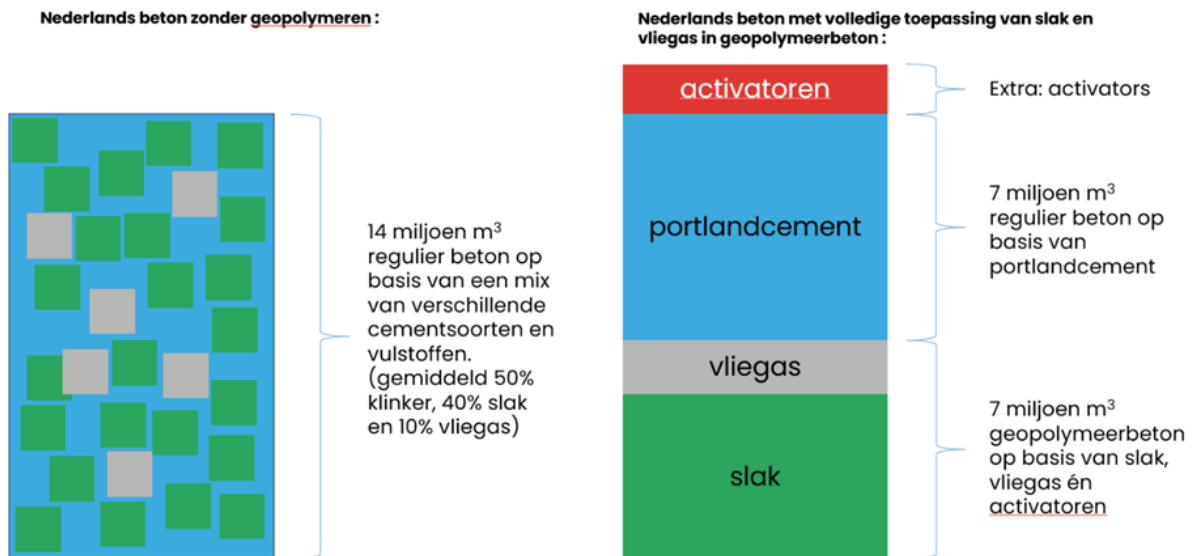
De term 'geopolymeren' is een gebruikelijke aanduiding voor alkalisch geactiveerde bindmiddelen. Materialen zoals poederkool, vliegias en hoogovenslakken worden in dit proces niet zoals gebruikelijk geactiveerd met Portlandcementklinker, maar met een sterk basisch bestanddeel.

Met grondstoffen die voornamelijk silicium bevatten, zoals verpulverde steenkoolvliegias, kan een min of meer polymere structuur worden gevormd. Bij materialen die ook veel calcium bevatten, zoals hoogovenslakken, vormt zich voornamelijk, net als bij regulier cement, een CSH-gel. De calcium/silicium verhouding in de CSH-gel van 'geopolymeer' beton verschilt sterk van die in regulier beton. In alkalisch geactiveerde slakken is de verhouding calcium/silicium ongeveer 1, terwijl de verhouding bij gewone cementsteen ongeveer 1,5 tot 1,8 is.

Het bindmiddel van geopolymeerbeton bestaat meestal uit – zoals voor regulier cement geschikt – grondstoffen zoals hoogovenslakken en poederkoolvliegias en een alkalische activator. De activator zorgt voor een hoge pH, waardoor de slak en vliegias oplossen en kunnen reageren. De meest voorkomende activatoren zijn natriumhydroxide (NaOH, aangeduid als natronloog in een waterige oplossing) en natriumsilicaat (Na₂SiO₃, waterglas). Natriumcarbonaat (Na₂CO₃, soda) wordt ook gebruikt als activator. In vergelijking met waterglas en natriumhydroxide is de zwakke basissoda veel minder agressief (lagere pH) en milieuvriendelijker, maar ook veel minder effectief. In combinatie met verwarming kan hoogovenslak er echter effectief mee worden geactiveerd. Een nog zwakkere activator dan natriumcarbonaat is natriumsulfaat. In combinatie met hoogovenslakken en een klein aandeel portlandcement (5%) is de sterkteontwikkeling echter voldoende, hoewel het geen volledig alkalisch geactiveerd bindmiddel is. In deze combinatie wordt natriumhydroxide gevormd door de vorming van calciumhydroxide tijdens de hydratatie van de portlandcementklinker: $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{CaSO}_4$. Het sulfaat helpt ook bij de ontwikkeling van kracht door de vorming van ettringiet. Dit type bindmiddel werd in de jaren 1950 in België op de markt gebracht als Purdocement en werd in beperkte mate gebruikt. Onderzoek op enkele projecten uit deze tijd toont overigens een aanzienlijke carbonatatie op een leeftijd van ongeveer 55 jaar en als gevolg daarvan corrosie (Vanooteghem, 2011).

Het eerste patent voor een geopolymeerbindmiddel (alkalisch geactiveerde slak) werd ingediend in 1908 en uitgegeven in de VS (US Patent, 1908). In de jaren zestig kwam de grootschalige toepassing echter in een stroomversnelling in met name Rusland en Oekraïne, gedreven door een tekort aan portlandcement in de voormalige Sovjet-Unie (afbeelding 2). De afgelopen decennia is er wereldwijd veel onderzoek gedaan naar geopolymeerbeton, vanwege de potentie om het CO₂-profiel van beton aanzienlijk te verlagen. Tot nu toe blijft de toepassing van geopolymeerbeton wereldwijd relatief marginaal.



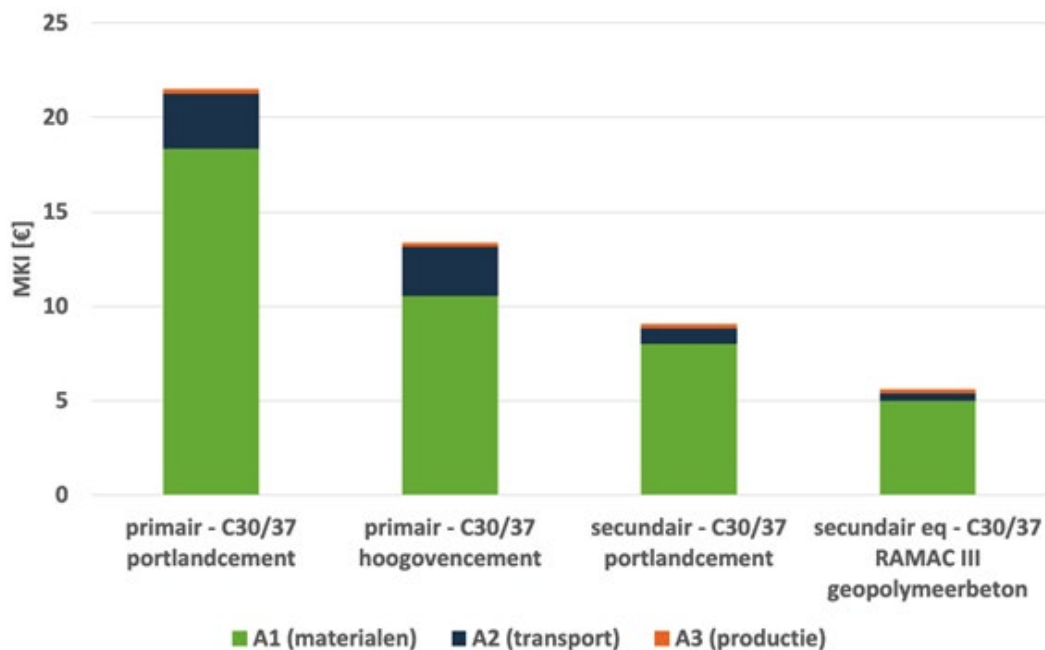


Afbeelding 3 Vergelijking gebruik van grondstoffen in de Nederlandse cement- en betonindustrie

Geopolymeren kunnen bijdragen aan een CO₂-reductie op voorwaarde dat er geen gebruik wordt gemaakt van grondstoffen die al volop worden gebruikt in de cement- en betonindustrie, zoals hoogovenslakken en poederkoolvliegas. Hoogovenslakken en poederkoolvliegas zijn schaarse grondstoffen die in Europa (en hoogovenslakken wereldwijd) al bijna volledig worden gebruikt in cement en beton, en portlandcementklinker al tientallen jaren gedeeltelijk vervangen. Door het toepassen van hoge gehalten slakken of vliegas in geopolymerbeton, maar ook bijvoorbeeld in de vorm van hoogovencement CEM III/C, levert dus geen milieuwinst op. Dit leidt alleen maar tot een herverdeling van grondstoffen (afbeelding 3).

In Nederland worden circulariteit en groen inkopen steeds belangrijker. Resultaten van LCA's worden steeds vaker gebruikt bij aanbestedingen, met name in de Nederlandse (wegen)bouwsector. Bij deze aanbestedingen wordt de Milieu Kosten Indicator (MKI) gebruikt als belangrijk criterium om de winnende inschrijving te bepalen. De Milieu Kosten Indicator (MKI) verenigt relevante milieueffecten in één score van milieukosten.

Op lokaal (project)niveau kan geopolymerbeton een lage MKI opleveren, maar gemiddeld zal de MKI op nationale schaal niet afnemen en daarmee ook de CO₂-uitstoot. Door de toenemende vraag kunnen we natuurlijk meer slakken en vliegas uit de buurlanden importeren dan nu al het geval is. In Nederland kan de gemiddelde MKI dalen, maar natuurlijk zal de gemiddelde MKI van beton in de omliggende landen dan stijgen, omdat slakken en vliegas ook daar al bijna volledig in beton worden gebruikt. Door het toegenomen transport zal de totale CO₂-uitstoot zelfs toenemen. De activatoren zorgen ook voor extra CO₂-uitstoot. Bovendien is portlandcementklinker een effectievere activator dan sterke basen: om dezelfde sterkte te bereiken, is in geopolymerbeton over het algemeen meer slak nodig dan hoogovencement in gewoon beton.



Afbeelding 4 MKI (MKI in assen) scoort per levensfase A1 – A3 van verschillende betonmengsels. (RaMaC = alkali geactiveerd Beton met Sqape bindmiddel)

Geopolymeren kunnen dus alleen bijdragen aan het beperken van de CO₂-uitstoot als materialen worden gebruikt die we nog niet in beton gebruiken. Dit kan een kunstmatig geproduceerde slak zijn, maar ook andere secundaire materiaalstromen dan poederkoolvliegias en hoogovenslak. In het geval van alternatieve secundaire materiaalstromen zijn de beschikbare volumes helaas meestal beperkt. Gecalcineerde klei kan onbeperkt worden geproduceerd en worden gebruikt als grondstof voor geopolymeerbeton. Het is zeer de vraag of er milieuwinst zal zijn ten opzichte van een regulier cement met een laag CO₂-profiel.

3. BESCHIKBAARHEID VAN GRONDSTOFFEN

Grofweg kan worden gesteld dat de effectiviteit van een grondstof in geopolymeerbeton vergelijkbaar is met de effectiviteit in combinatie met portlandcementklinker. In cement kan gegraneerde hoogovenslak het grootste deel van de portlandcementklinker vervangen en hoogovenslak is ook het meest geschikt voor geopolymeerbeton. Wanneer het wordt gedoseerd met een hoog aandeel hoogovenslakken, kan geopolymeerbeton worden gemaakt dat ook zonder verhitting een goede sterkte ontwikkelt. Bij minder reactieve materialen, zoals verpulverde steenkoolvliegias, gemalen baksteen, tras of gecalcineerde klei, zijn zeer hoge doseringen sterke activator en/of verhitting noodzakelijk. Zoals eerder aangegeven leidt het gebruik van gegraneerde hoogovenslakken en poederkoolvliegias in geopolymeerbeton tot een milieuverlies (in plaats van het milieuvoordeel dat werd nagestreefd), maar ook het volume van deze bijproducten is relatief beperkt. Samen zijn ze goed voor ongeveer 13% van de wereldwijde cementproductie (SGS INTRON, 2021).

Er zijn andere rest- en afvalstromen die geschikt zijn voor het maken van geopolymeerbeton die nog niet in cement en beton worden toegepast, maar de volumes van deze stromen zijn beperkt en aanzienlijk minder dan de hoeveelheid hoogovenslakken en vliegias. Zo komt er in België relatief veel koperslakken vrij die geschikt lijken voor de productie van geopolymeerbeton. Dit is echter minder dan 200.000 ton per jaar, terwijl er in België jaarlijks ongeveer 6,5 miljoen ton cement wordt gebruikt.

Klei is overal verkrijgbaar en kan door calcineren (verhitting tussen ongeveer 700 en 800 °C) geschikt worden gemaakt voor gebruik in zowel cement als in geopolymeerbeton. Het gaat

vooral om de kleisoort kaolien (Chinese klei) die rijk is aan het mineraal kaoliniet ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Door verhitting wordt het aluminiumsilicaat omgezet in metakaolien: het kristalwater wordt eruit gestookt en er ontstaat een complexe, min of meer amorfe structuur, waardoor het puzzolane eigenschappen krijgt. Voornamelijk vanwege de hoeveelheid energie die nodig is voor verwarming, heeft gecalcineerde klei, in vergelijking met hoogovenslakken en poederkoolvliegias, een hoger CO_2 -profiel (270 - 423 kg CO_2 per ton) (RILEM TC 282-CCL, 2022)(SGS INTRON, 2021)). Dit levert in combinatie met activatoren weinig tot geen milieuwinst op ten opzichte van regulier cementhoudend beton met een laag CO_2 -profiel. Tras is ook overal verkrijgbaar en hoeft niet verhit te worden, maar net als bij gecalcineerde klei is een zeer hoge dosis sterke activator nodig om een acceptabele sterkteontwikkeling te bereiken.

Vermoedelijk nog problematischer voor het opschalen van de productie van geopolymerbeton is de beperkte beschikbaarheid van activatoren. De productie van NaOH (natronloog), de belangrijkste en meest effectieve activator, bedraagt ongeveer 60 miljoen ton per jaar via elektrolyse van een natriumchloride-oplossing, waarbij chloorgas vrijkomt. De markt voor chloor (Cl_2) is beperkt, waardoor het opschalen van de productie van NaOH niet eenvoudig is (Luukkonena et al., 2018). Bovendien is de vraag naar NaOH vanuit andere toepassingen op dit moment al groter dan de daadwerkelijke productie. NaOH wordt onder meer gebruikt voor de productie van papier en voor tal van chemische processen. De beperkte beschikbaarheid belemmert daarom de opschaling van geopolymerbeton (SGS INTRON, 2021).

De wereldwijde productie van natriumsilicaat (waterglas), een activator die vaak wordt gebruikt in combinatie met NaOH, is minder dan 10 miljoen ton per jaar, waarmee maximaal 50 miljoen ton bindmiddel kan worden gemaakt (Scrivener et al., 2016). Dat komt ongeveer overeen met 1% van het totale wereldwijde cementvolume. Maar waterglas kent ook vele andere toepassingen, waardoor de huidige productie slechts in beperkte mate kan worden gebruikt voor geopolymerbeton. De productie van het natriumcarbonaat met zwakke base is ongeveer 50 miljoen ton, door extractie en voornamelijk door een chemische reactie tussen kalksteen en atriumchloride (The Essential Chemical Industry). Ongeveer de helft hiervan wordt gebruikt voor de productie van glas. De productie van natriumcarbonaat zou kunnen worden verhoogd (en er zijn grote voorraden in de VS), maar deze activator is niet erg geschikt voor de activering van algemeen beschikbare grondstoffen zoals (gebrande) klei en tras.

4. KENMERKEN

De eigenschappen van geopolymerbeton zijn sterk afhankelijk van de gekozen combinatie van vulstof(fen) met bindmiddelfunctie (poeders) en activator(s), terwijl ook kleine variaties in de samenstelling van het poeder(s) meer invloed hebben op de eigenschappen dan bij gebruik in regulier cement en beton. Er zijn echter enkele algemene uitspraken te doen die van toepassing zijn op de meeste varianten van geopolymerbeton.

4.1. Constructieve kenmerken

Geopolymerbeton heeft, in vergelijking met regulier beton (tenminste, zolang het niet koolzuurhoudend is), een hogere treksterkte bij dezelfde druksterkte. Dit is gunstig voor ongewapend beton. In gewapend beton is de hogere treksterkte over het algemeen ongunstig: om de scheurbreedte beperkt te houden en het risico op brosse breuk te voorkomen, is vaak meer wapening nodig dan bij gewoon beton. Geopolymerbeton vertoont meestal veel meer krimp dan regulier beton. Twee keer zoveel krimp komt vaak voor, hoewel er ook studies en geopolymervarianten zijn die weinig verschil laten zien.

Geopolymerbeton vertoont ook meer kruip dan gewoon beton (Shi et al., 2016). Het feit dat geopolymerbeton over het algemeen krimpt en kruipt in grotere mate in vergelijking met gewoon beton, is structureel meestal ongunstig.

4.2. Aantastingsmechanismen

Met betrekking tot verschillende aantastingsmechanismen, zoals vorst-dooicycli en penetratie van chloriden, blijkt geopolymerbeton goed te presteren. De studies zijn echter bijna zonder uitzondering uitgevoerd op jong geopolymerbeton. De weerstand tegen deze aantastingsmechanismen wordt sterk verminderd door carbonatatie, terwijl met name de weerstand tegen carbonatatie juist geen sterk aspect is van geopolymerbeton. Tijdens carbonatatie van geopolymerbeton, althans met alkalische geactiveerde slakken, wordt de CSH-gel direct aangetast (Puertas et al., 2005).

Naast calciumcarbonaat ontstaat hierdoor een soort silicagel die poreuzer en zwakker is dan de originele CSH-gel. Hierdoor wordt bij geopolymerbeton de cementsteen door carbonatatie niet harder en dichter zoals bij Portlandcement, maar zachter en poreuzer. Dit heeft een negatief effect op de dichtheid en daarmee de weerstand tegen o.a. het binnendringen van chloriden, en het vermindert ook sterk de weerstand tegen vorst-dooicycli. In geopolymerbeton op basis van vliegashuis (en daarmee vermoedelijk ook andere puzzolanen, zoals gecalcineerde klei en tras vanwege het lage CaO-gehalte) verhoogt carbonatatie ook de porositeit en vermindert het de weerstand tegen verschillende aantastingsmechanismen (10).

Hierdoor presteert geopolymerbeton in de praktijk minder goed dan op basis van laboratoriumonderzoek aan jong (niet gecarbonateerd) beton mag worden verwacht. Overigens blijkt laboratoriumonderzoek op in het laboratorium gecarbonateerd beton ook niet representatief voor de praktijk, omdat de werkelijke omstandigheden (wisselend nat/droog) niet in het laboratorium worden nagebootst (Pasupathy, 2018).

Het lijkt geen twijfel dat geopolymerbeton kan worden gebruikt om te bouwen. Maar de algemene bewering dat de eigenschappen van geopolymerbeton over het algemeen gelijk of beter zijn dan die van gewoon beton is, blijkt op basis van het bovenstaande onjuist.

5. CIRCULARITEIT

In de CROW-CUR-richtlijn 2 '*Beoordelingssysteem grondstoffen op geschiktheid voor circulair beton*' (CROW-CUR, 2021) is een criterium voor het alkaligehalte van betongranulaat opgenomen van maximaal 0,4% m/m. Dit criterium is opgenomen om te voorkomen dat ASR optreedt in nieuw beton met gerecycled betongranulaat (RCA). In de regel zal geopolymerbeton niet aan dit criterium kunnen voldoen. Geopolymerbeton moet dus worden hergebruikt in geopolymerbeton wanneer het wordt gerecycled of er moet worden aangetoond dat er geen verhoogd risico is op ASR bij gebruik in regulier beton. Dat is echter niet eenvoudig. Het gehalte aan alkaliën in geopolymerbeton ligt op een dusdanig niveau dat de zogenaamde 'cementsectie' van CROW-CUR-aanbeveling 89 (CUR, 2017) niet kan worden gebruikt bij hergebruik van geopolymerbeton op dezelfde manier als traditioneel gerecycled betongranulaat. Want de '*alkalische bijdrage van andere componenten*' is al van toepassing wanneer 30% 'traditioneel' gerecycled betongranulaat wordt gebruikt. Bij hergebruik van geopolymerbeton zou dit aanzienlijk hoger liggen, zelfs bij gebruik van hoogovencement CEM III/B.

Daarom kan ASR niet worden uitgesloten. Bij slim breken zullen de alkaliën vooral in de cementsteenfractie terecht komen. Het slim gemalen grind kan worden hergebruikt, maar hergebruik van de cementsteenfractie in regulier beton wordt dan problematisch.

Het apart recycleren van geopolymerbeton en hergebruik in nieuw geopolymerbeton is in de trendpraktijk niet eenvoudig te organiseren en het is niet aangetoond dat er geen verhoogd risico is op ASR bij hergebruik. Geopolymerbeton kan dus vooralsnog niet als circulair worden beschouwd.

6. ERVARINGEN NEDERLANDSE PILOTPROJECTEN

Sinds 2016 is in Nederland zo'n 50.000 m² wegoppervlak gemaakt van geopolymeerbeton, waarvan de meeste (>95%) fietspaden. Fietspaden worden in de praktijk gezien als een ideale test: Identieke wijze van toepassing als doorgaande wegen (machinale aanleg), beperkte verkeersbelasting (beperkte impact bij mislukken) en een nagenoeg identieke belasting m.b.t. vorst-dooibelasting (identiek gebruik van dooimiddelen).

Sinds de aanleg van het eerste pilotproject in 2016 monitort Cement&BetonCentrum de staat van dit type verhardingen. Met name het wegoppervlak, voegen en eventuele scheurvorming worden geregistreerd.

In dit document worden drie van deze infrastructuurprojecten met geopolymeerbeton gepresenteerd tot hun inspecties in 2022:

1. Rotonde bij vliegveld Twente
2. Rood gekleurd fietspad bij Almelo
3. Fietspaden langs beide zijden van een streekweg tussen Deventer - Holten

Ook deze projecten zijn in 2023 geïnspecteerd. De laatste waarnemingen zijn verwerkt in de presentatie tijdens de conferentie.

Ondanks het feit dat er in deze paper 'slechts' 3 projecten worden gepresenteerd, wordt de ervaring met polymeerbeton, zoals beschreven in deze paper, over het gehele areaal in ogenschouw genomen. De projecten die zijn gekozen voor verdere verdieping in dit artikel zijn daarom bewust zo gekozen dat ze een goed beeld geven van de aanwezige areaal van geopolymeerbeton (als betonverharding) in Nederland.

De monitoring is in de loop van de tijd uitgevoerd door dezelfde (2) personen en de bevindingen zijn vastgelegd met foto's met een hoge resolutie. Op deze manier hebben we ervoor gezorgd dat de beoordeling van de staat van de verharding zo onafhankelijk mogelijk is.

6.1. Rotonde bij vliegveld Twente

Projectinformatie:

Locatie: kruising Vliegvelddstraat met Oude Vliegvelddweg
Bouw: november 2017

Wijze van aanleg: Handmatig, zowel hoofdweg (tussen bekisting met trilbalk) als rammelstrook (met print) en fietsoversteekplaatsen in middenberm.

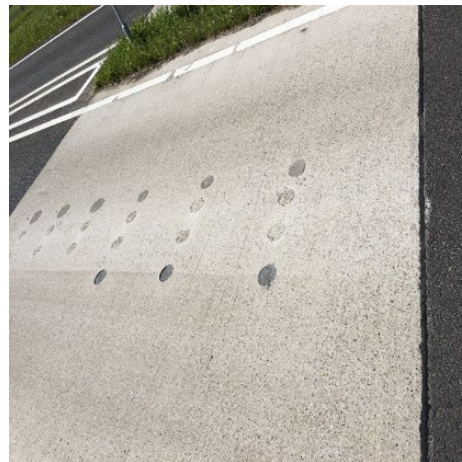
Constructie: Ongewapend met deuvels.

Breedte hoofdweg: 5 m1

Bijzonderheden: proefplaat in bypass t.b.v. monitoring. Geen rotondeband toegepast;
De overrijdbare rammelstrook is afgeschuind ter plaatse van de aansluiting op de rijbaan. De hoofdrijbaan werd na het storten, en voor ingebruikname, behandeld met waterglas als nabehandeling.



Afbeelding 5 Luchtfoto van de locatie



Afbeelding 6 Monsterplaat in bypass

Visuele inspecties werden uitgevoerd in mei 2019, maart 2020, februari 2021 en juli 2022. De eerste inspectie na 1,5 jaar in maart 2019 omvatte twee winterperiodes. Er is een verschil in oppervlakteschade tussen hoofdweg- en fietsoversteekplaatsen en rammelstrook. De hoofdweg vertoont nauwelijks schade, maar de fietsoversteekplaatsen vertonen al materiaalverlies (scaling). Hetzelfde geldt voor de rammelstrook, waar betondeeltjes achterblijven in de 'voegen' van het geprinte beton.



Afbeelding 7 Hoofdrijbaan in 2019



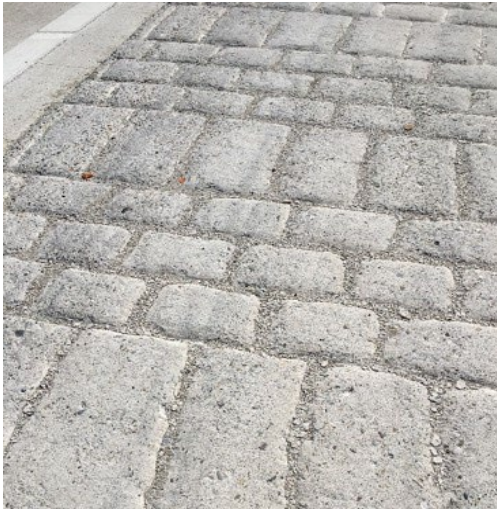
Afbeelding 8 Hoofdrijbaan in 2019



Afbeelding 9 Oppervlak fietsoversteek in 2019



Afbeelding 10 Oppervlak fietsoversteek in 2022



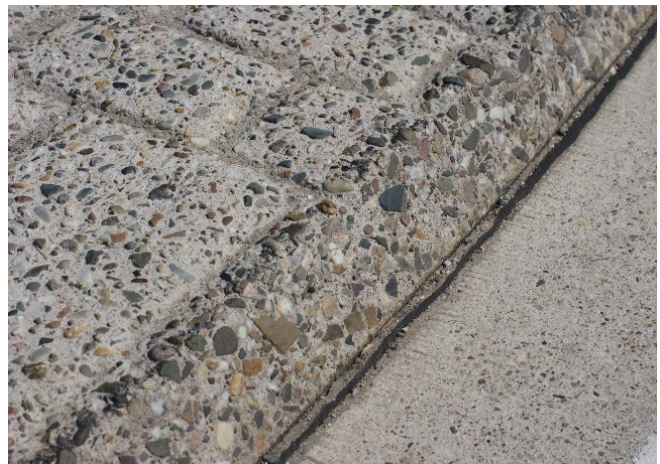
Afbeelding 11 Rammelstrook in 2019



Afbeelding 12 Rammelstrook in 2022



Afbeelding 13 Rammelstrook in 2019



Afbeelding 14 Rammelstrook in 2022

In 2022, na 5 jaar gebruik, is het wegdek van de hoofdrijbaan nog in goede staat. Nauwelijks materiaalverlies waarneembaar. Waarschijnlijk is dit het gevolg van de oppervlaktebehandeling met waterglas na de aanleg van de verharding. Voor zover onze informatie reikt, zijn er geen luchtbelvormers gebruikt. De oppervlakken van de rammelstrook en de fietsoversteekplaatsen vertonen ernstige schade door materiaalverlies. Deze lijkt progressief. De markeringen verslechteren met de toename van het optredende materiaalverlies. De rand van de rammelstrook ziet eruit als uitgewassen beton. Dooizouten verergeren het materiaalverlies verder.

6.2. Rood gekleurd fietspad bij Almelo

Projectinformatie:

Locatie: Aadorpweg nabij gewestweg N36

Bouw: najaar 2019

Lengte: ca. 1 km

Wijze van aanleg: voornamelijk met slipformpaver.

Extra onderdelen bij kruisingen: handmatig, inclusief bocht aan het einde bij een rotonde.

Constructie: Ongewapend beton, roodgekleurd

Breedte: 4 m; Om de 4 m een dwarsschijnvoeg en om de 100m een dilatatievoeg gevuld met koud asfalt.

Bijzonderheden: aan beide zijden is een machinaal aangelegde grijze betonnen band aangebracht. Dwarshelling ligt naar één kant in de richting van de sloot.

In maart 2020, februari 2021 en juli 2022 zijn visuele inspecties uitgevoerd.



Afbeelding 15 Overzicht van het fietspad in maart 2020

De eerste inspectie vond plaats in maart 2020, een half jaar na aanleg. Eerste indruk was dat het rode fietspad er mooi uitziet. Zeker met de (donker)grijze betonstrook aan weerszijden. Maar bij nadere beschouwing kan de detaillering en afwerking beter. Er werden geen wilde scheuren waargenomen. De dwarsvoegen zien er strak uit.

Het meest noordelijke deel, ter hoogte van de N36, vertoont enkele plekken met materiaalverlies. De vlakheid in de lengterichting laat over de hele route veel te wensen over. De oneffenheden in de lengterichting zijn duidelijk merkbaar. Er zitten nogal wat oneffenheden in het wegdek van het fietspad.

De handmatig aangelegde delen: verbindende fietsoversteekplaatsen vertonen al veel oppervlakteschade. Het oppervlak van de grijze banden: de banden aan de lage kant vertonen meer schade (en rode gebieden) dan aan de andere kant.



Afbeelding 16 Verschil tussen machinaal- en handmatig aangebracht (2020)



Afbeelding 17 Ernstige en progressieve scaling



Afbeelding 18 2022...



Afbeelding 19 Scaling van de opsluitband aan de onderzijde in de tijd



Afbeelding 20 Platen met het meest ernstige materiaalverlies zijn vervangen

Na net iets meer dan 2 jaar vertonen bijna alle platen ernstige vorm van materiaalverlies, hetgeen ook progressief lijkt. De handmatig aangelegde platen met ernstig materiaalverlies zijn inmiddels vervangen.

Op basis van de huidige staat van het fietspad zal de verwachte levensduur naar alle waarschijnlijkheid niet worden bereikt.

6.3. Fietspaden langs weerszijden van een regionale weg tussen Deventer en Holten

Projectinformatie:

Locatie: N344 Holterweg, nabij Oude Molen

Bouw: najaar 2019

Lengte: ca. 11 km; aan beide kanten van de weg ca. 5,5 km.

Constructiewijze: slipformpaver.

Constructie: niet-gewapend geopolymeerbeton (C30/37),

Breedte: 2,25 m; Om de 4 m een dwarsvoeg en om de 100 m een dilatatievoeg gevuld met koud asfalt.

Dikte: 0,16 m

In maart 2020, februari 2021 en juli 2022 zijn visuele inspecties uitgevoerd

De visuele inspecties concentreerden zich op het oostelijk deel bij Oude Molen in de richting van Holten, over een lengte van ongeveer 1 km. Zowel voor het zuidelijke als het noordelijke deel van de fietspaden. Tijdens de aanleg van dit zuidelijke deel (ongeveer 1 km) ontstonden er zeer snel wilde scheuren. Het Cement&BetonCentrum werd ingeschakeld om de vermoedelijke oorzaak hiervan te onderzoeken. Bij de eerste inspectie zijn de ontstane scheuren in november gemarkeerd met rode verf. Ook andere scheuren werden ontdekt zonder markering met verf. Bij verschillende wilde scheuren brokkelt materiaal af. De langsvlakheid is OK voor het noordelijke en het zuidelijke deel van het fietspad. Het noordelijke pad heeft geen wilde scheuren. Maar bij verschillende platen vond al snel materiaalverlies (scaling) plaats. Oppervlaktestructuur (met bezem) is zowel in dwars- als in lengterichting aangebracht.



Afbeelding 21 Wilde scheuren zuidkant, maart 2020



Afbeelding 22 Noordzijde, maart 2020

In de jaren na 2020 is er geen verdere toename van scheurvorming waargenomen. Maar over bijna de gehele lengte van de fietspaden is een grote mate van materiaalverlies waar te nemen, dit zelfs in die mate dat er stofwolken ontstaan door de wind.



Afbeelding 23 Maart 2020: Noord- en zuidzijde: materiaalverlies al zichtbaar



Afbeelding 24 Oppervlakte met scaling in 2021



Afbeelding 25 Oppervlakte met scaling in 2022

In ongeveer 3 jaar na aanleg verslechterde de oppervlaktestructuur tot een soort uitgewassen grindtegel met blootgestelde toeslagmaterialen. Het comfort van een gladde ondergrond voor de fietsers is verdwenen. De opdrachtgever (provincie Overijssel) overweegt om deze paden van geopolymeerbeton te overlagen met een standaardbeton.

Foto's van het betonoppervlak gemaakt in juli 2022 van project fietspaden Deventer- Holten :



Afbeelding 28 Oppervlaktedetail Deventer-Holten



Afbeelding 29 Oppervlaktedetail Deventer-Holten



Afbeelding 30 Oppervlaktestructuur oppervlak Deventer-Holten



Afbeelding 31 Progressieve scaling Deventer-Holten

7. CONCLUSIE

- Het is duidelijk dat, door de beperkte beschikbaarheid van grondstoffen en activatoren, de productie van geopolymeerbeton, in zijn huidige vorm, niet zodanig kan worden opgeschaald dat het een belangrijk deel van regulier beton op basis van regulier cement kan vervangen.
- Voor de meeste toepassingen binnen de (weg)infrastructuur zijn de eigenschappen van geopolymeerbeton ook inferieur aan die van regulier beton.
- Bovendien kan geopolymeerbeton nog niet als circulair worden beschouwd. Het is natuurlijk goed om reststromen die nog niet in cement en beton worden gebruikt, zoals koperslakken, te gebruiken voor geopolymeerbeton, wanneer deze toepassing het meeste milieuvoordeel oplevert. Daarnaast kan geopolymeerbeton worden gebruikt vanwege specifieke eigenschappen zoals zuurbestendigheid.

Geconcludeerd kan worden dat de bijdrage van geopolymeerbeton aan een verdere verduurzaming van beton(verhardingen) zeer beperkt is, met name bij toepassing op de in-situ (weg)infrastructuur.

VERWIJZINGEN

CROW-CUR (2021) "Beoordelingssysteem grondstoffen voor geschiktheid voor circulair beton". Richtlijn 2:2021

CUR (2017) "Maatregelen om betonschade door alkali-silicareactie (ASR) te voorkomen". Aanbeveling 089:2017

LUUKKONENA Tero, ABDOLLAHNEJADA Zahra, YLINIEMIA Juho, KINNUNENA, Paivo, ILLIKAINENA Mirja (2018) "Eendelige alkali-geactiveerde materialen: een overzicht". Onderzoek naar cement en beton 103 21-34

NIJLAND T.G., DIJKSMAN T.J.A. (2021) "Living Lab Geopolymers: Monitoring van tien pilots met geopolymerbeton tijdens het eerste jaar van gebruik en duurzaamheidskenmerken". TNO-rapport R12402. Jaaroverzicht 2021

PASUPATHY Kirubajiny (2018) "Veld- en laboratoriumonderzoek naar de duurzaamheidsprestaties van geopolymerbeton". Proefschrift, Swinburne University of Technology, Melbourne, Australië

PUERTAS F., Palacios M., VAZQUEZ T., Eduardo Torroja Instituut (C.S.I.C)
"CARBONATATIEPROCES VAN ALKALI-GEACTIVEERDE SLAKKENMORTELS"

RILEM TC 282-CCL (2022) "Kleicalcinatietechnologie: state-of-the-art review"

SCRIVENER Karen L., VANDERLEY M. GARTNER John, Ellis M. (2016) "Eco-efficiënte cementen: potentiële, economisch levensvatbare oplossingen voor een CO2-arme, op cement gebaseerde materialenindustrie". Milieuprogramma van de Verenigde Naties, Parijs

SGS INTRON B.V. (2021) "Ontwikkelingen betreffende hoofdbestanddelen voor klinker-gebaseerde cementen en geopolymeren"

SHI Caijun, KRIVENKO Pavel V., DELLA Roy, TAYLOR & FRANCIS (2016) "Alkali-geactiveerde cementen en beton"

DE ESSENTIËLE CHEMISCHE INDUSTRIE. Artikel online
<https://www.essentialchemicalindustry.org/chemicals/sodium-carbonate>

US PATENT 900,939 (1908) "Slakkencement en het proces om hetzelfde te maken"

VANOOTEGHEM, Maarten (2011) "Duurzaamheid van beton met alkali-geactiveerde slak uit de jaren 50 – Het Purdocement". Master thesis Universiteit Gent

VERMEULEN E.M.M. (2022) "Geopolymerbeton, een hype of de toekomst?". Betoniek Vakblad 2: 2022

VERWEIJ M., HEIJSTERS H. (2022) "Milieuaspecten en technische kenmerken van geopolymerbeton". Artikel Betoniek vakblad 3-2022