



**GESCHIKTHEID SQAPE TECHNOLOGIE VOOR
DE INZET IN BETONWAREN, AGRARISCHE
BETONPRODUCTEN EN BETONVERHARDINGEN**

Status **eindrapport**

Datum **14-11-2017**

Rapportnr. **A893130/R20170265b**

**BUILDING
MATERIALS**

SGS INTRON

COLOFON

Opdrachtgever / Customer	SQAPE t.a.v. de heer P. Ammerlaan Ambachtsweg 9 4901 CH OOSTERHOUT	E-mail: p.ammerlaan@SQAPE.nl
Titel rapport / Titel report	Geschiktheid SQAPE technologie voor de inzet in betonwaren, agrarische betonproducten en betonverhardingen	
Offerte / Quotation	A893130/BO20170206a	Datum / Date 08-04-2017
Opdracht / Purchase order	Opdrachtformulier	Datum / Date 24-04-2017
Opdrachtnemer / Contractor	SGS INTRON B.V. Postbus 5187 6130 PD SITTARD	Kantoor / Office Dr. Nolenslaan 126 6136 GV SITTARD
Contactpersoon / Contactperson	dr. ir. G.J.L. van der Wegen	Tel.: +31 46 4204204 Mob.: +31653731832 E-mail: Gert.vanderWegen@sgs.com
Auteur / Author	dr. ir. G.J.L. van der Wegen	Autorisatie / Authorisation dr. U. Hofstra
Handtekening / Signature		Handtekening / Signature 
Datum / Date	Rapportnr. / Reportnr.	Reden revisie / Reason revision
10-05-2017	A893130/R20170265	Ontbrekende informatie ontvangen van opdrachtgever en verwerkt in eindrapport
20-09-2017	A893130/R20170265a	Aanvullende gegevens van opdrachtgever verwerkt
14-11-2017	A893130/R20170265b/ILa	

Disclaimer

Tenzij anders overeengekomen worden de opdrachten uitgevoerd op basis van de meest recente versie van de algemene voorwaarden van SGS INTRON B.V. Op eenvoudig verzoek worden deze voorwaarden opnieuw aan u toegezonden. Uw aandacht wordt gevraagd voor de beperking van aansprakelijkheid en de vergoedings- en bevoegdheidskwesties bepaald door deze voorwaarden.

Elke houder van dit document dient te weten dat de informatie vevat in dit document uitsluitend is gebaseerd op de bevindingen van SGS INTRON B.V. op het ogenblik van haar tussenkomst en binnen de grenzen van de eventuele instructies van de opdrachtgever. SGS INTRON B.V. kan enkel aansprakelijk zijn jegens haar opdrachtgever. Dit document stelt de bij een handelstransactie betrokken partijen niet vrij van hun plicht al hun rechten en verplichtingen uit te oefenen voortvloeiend uit de bij die transactie betrokken documenten. Elke niet toegestane wijziging, evenals de namaak of vervalsing van de inhoud of het uiterlijk van dit document, is onrechtmatig en overtreders zullen worden vervolgd.

© SGS INTRON BV

INHOUDSOPGAVE

	Pagina
SAMENVATTING	4
SUMMARY	5
1. INLEIDING	6
2. BESCHIKBARE INFORMATIE	6
3. BEOORDELING BESCHIKBARE GEGEVENS	7
3.1. Kaders	7
3.2. Betonwaren.....	7
3.3. Agrarische betonproducten	11
3.4. Betonverharding	13
4. CONCLUSIES.....	15
5. LITERATUUR	15

SAMENVATTING

Inleiding

SQAPE technology is een [Nederlandse] kennisorganisatie die beschikt over een gepatenteerde geopolymer technologie waarmee een duurzaam bouw materiaal kan worden geproduceerd met een hoge mate van bestendigheid en een lage CO₂ footprint. Met haar geopolymer oplossing zet SQAPE technology zich binnen de betonsector in om de impact op het milieu en de omgeving te reduceren en een meer verantwoordelijk en efficiënt gebruik van de natuurlijke hulpbronnen te realiseren.

Met deze technologie worden geopolymeren gemaakt. De door SQAPE ontwikkelde, samengestelde hoogwaardige bindmiddelen GP MIII en GP MIV worden in combinatie met alkaliën toegepast voor de productie van geopolymer bouwmaterialen.

Doel en werkwijze

SGS INTRON heeft de door SQAPE beschikbaar gestelde onderzoeksresultaten, aangevuld met literatuurgegevens, geëvalueerd en de potentiële geschiktheid van SQAPE geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV als bindmiddel voor specifieke betontoepassingen beoordeeld.

Conclusies

Op basis van de aangeleverde onderzoeksresultaten en de toetsing ervan aan betreffende normen en BRL's kan worden geconcludeerd dat SQAPE geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV potentieel geschikt zijn om in te zetten in:

- Betonwaren: straatstenen, grastegels, betontegels, banden en zetstenen
- Agrarische betonproducten: vrijdragende betonelementen en betonnen wandelementen, evenals rioolbuizen en -putten
- Betonverhardingen, waarbij is aangetoond dat ten minste druksterkteklasse CC40, buigtreksterkteklasse F4,5 en vorstdooizoutbestandheidscategorie FT1 realiseerbaar is

Uiteraard dient voor betreffende toepassingen de samenstelling van het betonmengsel te worden afgestemd op de specifieke eigenschappen van deze geopolymeren en het toegepaste productieproces.

Tevens moeten bij constructieve toepassingen het ontwerp en de uitvoering van de bouwdelen voldoen aan de gestelde eisen.

SUMMARY

Introduction

SQAPE technology is a Dutch knowledge organization that has a patented geopolymer technology to produce a sustainable building material with high durability and low CO₂ footprint. With its geopolymer solution SQAPE technology is committed to reduce the impact on the environment by the concrete sector and to realize a more responsible and efficient use of natural resources.

Goal and method

SGS INTRON has evaluated the provided research results by SQAPE and assessed the potential suitability of SQAPE geopolymers based on GPM III and GPM IV as a binder for specific concrete applications.

Conclusions

Based on the research results provided and the requirements postulated in relevant standards and guidelines, it can be concluded that SQAPE geopolymers based on GPM III and GPM IV are potentially suited as a binder in concrete for the following applications:

- Concrete products: paving blocks, paving flags with or without an open structure, kerb units and stones for shore protection
- Agrarian concrete products: free bearing floor elements and wall elements, as well as sewer pipes and manholes
- Concrete pavements, for which it has been shown that at least compressive strength class CC40, flexural strength class F4,5 and freeze thaw resistance category FT1 can be achieved

Obviously, the concrete composition needs to be adjusted to the specific properties of these geopolymers and the production process applied. Moreover, for structural applications the design and execution of the concrete elements must meet the postulated requirements.

1. INLEIDING

SQAPE technology is een [Nederlandse] kennisorganisatie die beschikt over een gepatenteerde geopolymer technologie waarmee een duurzaam bouw materiaal kan worden geproduceerd met een hoge mate van bestendigheid en een lage CO₂ footprint. Met haar geopolymer oplossing zet SQAPE technology zich binnen de betonsector in om de impact op het milieu en de omgeving te reduceren en een meer verantwoordelijk en efficiënt gebruik van de natuurlijke hulpbronnen te realiseren.

Met deze technologie worden geopolymeren gemaakt. De door SQAPE ontwikkelde, samengestelde hoogwaardige bindmiddelen GP MIII en GP MIV worden in combinatie met alkaliën toegepast voor de productie van geopolymer bouwmaterialen.

In het rapport zal geopolymer materiaal dat is samengesteld op basis van SQAPE technologie verder aangeduid worden als geopolymer.

Aan SGS INTRON is opdracht verleend om aan de hand van door SQAPE uitgevoerd en beschikbaar gestelde onderzoeksresultaten, eventueel aangevuld door literatuur, de potentiële geschiktheid van de SQAPE technologie voor specifieke betontoepassingen aan te geven.

Aan de hand van de beschikbaar gestelde onderzoeksresultaten en gegevens heeft SGS INTRON de (potentiële) geschiktheid van de door SQAPE ontwikkelde geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV beoordeeld voor de toepassing als bindmiddel in:

1. Betonwaren: straatstenen, (gras)tegels, banden en zetstenen* voor dijkbekleding
* Zetsteen is in NEN 7024-1 gedefinieerd als een geprefabriceerd element dat bedoeld is om deel uit te maken van een steenzetting (bekleding van taluds en belopen), bestemd voor de natte waterbouw
2. Agrarische betonproducten: vrijdragende betonelementen (o.a. roostervloerelementen) en betonnen wandelementen (sleufsilo- en mestsilowandelementen). Tevens is de toepassing in rioolbuizen/-putten beschouwd
3. Infra: betonverhardingen

Bij de beoordeling is uitgegaan van de bestaande regelgeving (relevante normen en/of beoordelingsrichtlijnen) voor betreffende toepassingen. De beoordeling is geschied op basis van beschikbaar gestelde onderzoeksgegevens aan betreffende betonproducten. De onderzoeksresultaten van de geopolymer straatstenen en grastegels geven tevens een goed beeld voor de tegels en zetstenen (vergelijkbare mengselsamenstellingen en productiewijzen). Indien voor een bepaalde toepassing geen specifieke onderzoeksgegevens beschikbaar zijn gesteld, dan is op basis van de gemeten eigenschappen aan het geopolymer een uitspraak gedaan over de potentiële geschiktheid voor die toepassing. Waar nodig, is aanvullend gebruik gemaakt van literatuurgegevens.

2. BESCHIKBARE INFORMATIE

De door SQAPE beschikbaar gestelde onderzoeksresultaten zijn in de literatuurlijst vermeld (referenties [6] t/m [13]).

3. BEOORDELING BESCHIKBARE GEGEVENS

3.1. Kaders

Een aantal eigenschappen van de beschouwde toepassingen, zoals vorm en dimensies van de betonproducten, worden voornamelijk door het productieproces bepaald. Omdat we de potentiële geschiktheid van het geopolymer op basis van GPM III en GPM IV beoordelen, worden dergelijke, door het productieproces bepaalde aspecten niet nader beschouwd.

Aan sommige betonproducten, zoals straatstenen en tegels, kan een eis worden gesteld wat betreft de slijtbestandheid (Wide Wheel Abrasion proef). Deze eigenschap is niet gemeten aan dergelijke betonproducten vervaardigd met SQAPE geopolymer. Echter, de slijtbestandheid van een betonoppervlak wordt voornamelijk bepaald door het toegepaste toeslagmateriaal. Indien het toeslagmateriaal hetzelfde is, dan wordt geen groot verschil in slijtbestandheid verwacht tussen cementbeton en geopolymerbeton, mede gezien de vergelijkbare sterkte-eigenschappen en de betere hechting van het geopolymer aan het toeslagmateriaal vergeleken met cementsteen [1].

Het uiterlijk van betonproducten wordt voornamelijk door het productieproces bepaald (kleur, structuur, verdichting). Er mogen geen grindnesten, holtten, bramen of uitsteeksels zichtbaar zijn. Een visueel aspect dat pas na productie kan optreden, is de uitbloei van zouten. Dit kan bij gebruik van zowel cement als geopolymer als bindmiddel geschieden. Bij cementbeton is de uitbloei calciumhydroxide (Ca(OH)_2) dat aan de lucht wordt gecarbonateerd tot calciumcarbonaat (CaCO_3). Bij geopolymerbeton is de uitbloei natriumhydroxide (NaOH) dat aan de lucht wordt gecarbonateerd tot natriumcarbonaat (Na_2CO_3). In tegenstelling tot calciumcarbonaat is natriumcarbonaat goed in water oplosbaar, waardoor eventuele uitbloei bij een regenbui van het betonoppervlak wordt afgespoeld.

Bekend is dat geopolymerbeton gevoeliger kan zijn voor uitbloei dan cementbeton. Omdat het gehalte aan alkalische activator in SQAPE geopolymer relatief laag is, is het risico op uitbloei van betonproducten vervaardigd met deze SQAPE geopolymeren beperkt. De mate van uitbloei is sterk afhankelijk van de plaatselijke vochtcondities. Uitbloei is een zuiver esthetisch aspect en heeft geen invloed op de prestatie-eigenschappen van het beton. Deze eigenschap wordt daarom minder relevant geacht in betreffende normen en BRL's.

Betonproducten vervaardigd met geopolymer als bindmiddel kunnen (evenals cementbetonproducten) worden beschouwd als brandwerend en brandbestendig [1, 2].

Indien voor een bepaalde toepassing wordt geconcludeerd dat SQAPE geopolymer op basis van GPM III en GPM IV potentieel geschikte bindmiddelen zijn, dan dient uiteraard de betonsamenstelling voor de vervaardiging van het betreffende betonproduct te worden afgestemd op de specifieke eigenschappen van deze beide bindmiddelen en het betreffende productieproces.

3.2. Betonwaren

3.2.1. Betonstraatstenen

Betonstraatstenen moeten voldoen aan de norm EN 1338 'Betonstraatstenen – Eisen en beproevingsmethoden'. In deze norm worden geen eisen gesteld aan de samenstelling van het beton, enkel aan de

prestaties van het vervaardigde product. Daarom kan deze norm gebruikt worden om betonstraatstenen vervaardigd met geopolymeer als bindmiddel te toetsen. In de Nederlandse beoordelingsrichtlijn BRL 2312 'Betonstraatstenen' worden aanvullende eisen gesteld.

De belangrijkste eisen gesteld in deze norm en BRL betreffen:

- Splijttreksterkte
- Weersbestandheid (waterabsorptie en afschilfering vorstdooizoutproef)

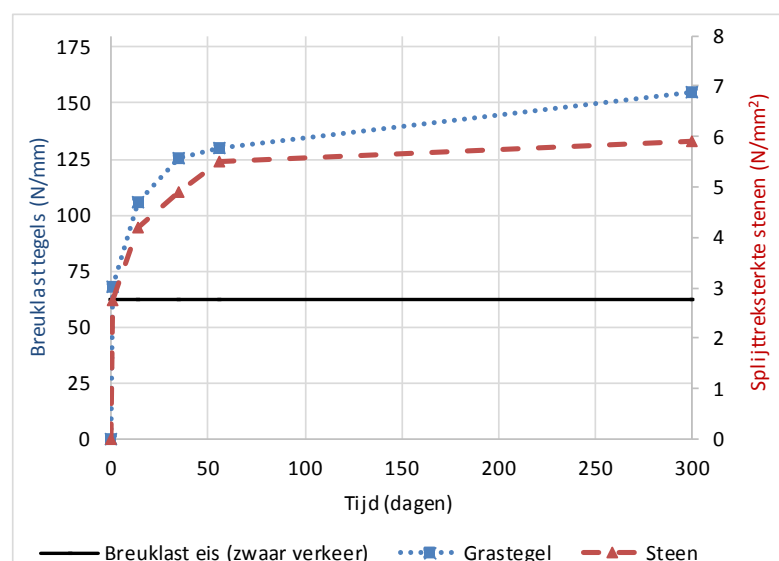
De verkregen onderzoeksresultaten [6] voor bovengenoemde eigenschappen van betonstraatstenen vervaardigd met SQAPE geopolymeer op basis van GPM III en GPM IV zijn samengevat in tabel 1. In de tabel zijn de gemiddelde waarden op een ouderdom van 35 dagen weergegeven.

Tabel 1. Eigenschappen betonstraatstenen vervaardigd met SQAPE GPM III en GPM IV

Bindmiddel	Producent	W/B	Splijttreksterkte (MPa)	Waterabsorptie (%m/m)	Afschilfering (kg/m ²)
GPM III	A	0,30	5,6	4,7	0,05
GPM IV	A	0,31	5,6	3,6	0,0
GPM IV	B	0,33	6,6	-	0,31
Eis in EN 1338 of BRL 2312	-	-	kar. $\geq 3,6$ indiv. $\geq 2,9$	gem. ≤ 6	gem. $\leq 1,0$ indiv. $\leq 1,5$

Uit deze tabel blijkt dat de gemiddelde splijttreksterkte ruimschoots boven de vereiste karakteristieke waarde is gelegen, zodat gezien de geringe spreiding tussen de individuele waarden (standaardafwijking is ca. 0,2 MPa), ruimschoots aan de gestelde eis wordt voldaan. Opvallend is de hogere splijttreksterkte van de betonstraatstenen vervaardigd door producent B ten opzichte van die vervaardigd door producent A ondanks de enigszins hogere water/bindmiddel factor (W/B) bij producent B. Dit kan het gevolg zijn van een ander toeslagmateriaal (aard, vorm en/of korrelopbouw).

De splijttreksterkte blijft ook op langere termijn op dit hoge niveau, zoals blijkt uit figuur 1 (rode streepjeslijn) [7].



Figuur 1. Sterkte-ontwikkeling betonstraatsteen (splijtsterkte) en grastegel (breuklast)

De waterabsorptie en de afschilfering voldoen eveneens aan de gestelde eisen, zodat mag worden gesteld dat de weersbestandheid van de onderzochte betonstraatstenen goed is.

Conclusie

Op basis van bovenbeschreven onderzoeksresultaten, kan worden gesteld dat SQAPE geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV potentieel geschikte bindmiddelen zijn voor de vervaardiging van betonstraatstenen.

3.2.2. Grastegels

Voor grastegels is er geen specifieke Europese norm beschikbaar. In Nederland is voor dit betonproduct een aparte beoordelingsrichtlijn opgesteld: BRL 2320 'Grastegels'.

De belangrijkste eisen gesteld in deze BRL betreffen:

- Breukkracht
- Weersbestandheid (waterabsorptie en afschilfering vorstdooizoutproof)

De verkregen onderzoeksresultaten [6, 7] over grastegels vervaardigd met SQAPE geopolymeer op basis van GPM III en GPM IV zijn samengevat in tabel 2. Genoemde eigenschappen zijn bepaald op een ouderdom van 35 dagen.

Tabel 2. Eigenschappen grastegels vervaardigd met SQAPE GPM III en GPM IV

Bindmiddel	Producent	W/B	Breukkracht (N/mm)	Waterabsorptie (%m/m)
GPM III	A	0,30	110-120	4,7
GPM IV	A	0,31	110-120	3,6
Eis in BRL 2320 zwaar verkeer	-	-	kar. $\geq 62,5$ indiv. $\geq 60,0$	gem. $\leq 6,5$

Uit tabel 2 blijkt dat de breukkracht ruimschoots voldoet aan de eisen voor de zwaarste verkeersbelasting conform BRL 2320. Dit hoge sterkteniveau blijft ook op de langere termijn aanwezig (zie figuur 1: blauwe stippellijn).

In BRL 2320 wordt de weerbestandheid van grastegels enkel getoetst op de waterabsorptie. Uit tabel 2 blijkt dat beide geopolymeerbetonmengsels voldoen aan deze eis.

Conclusie

Op basis van bovenstaande beschouwing, kan worden gesteld dat SQAPE geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV potentieel geschikte bindmiddelen zijn voor de vervaardiging van beton(gras)tegels.

3.2.3. Betontegels

Betontegels moeten voldoen aan de norm EN 1339 'Betontegels – Eisen en beproevingsmethoden'. In deze norm worden geen eisen gesteld aan de samenstelling van het beton, enkel aan de prestaties van het vervaardigde product. Daarom kan deze norm gebruikt worden om betontegels vervaardigd met geopolymeer als bindmiddel te toetsen. In de Nederlandse beoordelingsrichtlijn BRL 2313 'Betontegels' worden aanvullende eisen gesteld.

Er zijn geen gegevens aangeleverd van betontegels vervaardigd met SQAPE geopolymeren. Voor geopolymeerbeton geldt dat de buigtreksterkte vergelijkbaar is met de splijttreksterkte [3, 4], die voor betonmengsels vervaardigd met beide SQAPE geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV bij een W/B-

verhouding van 0,30 ca. 6 MPa bedraagt (zie tabel 1). Een dergelijke gemiddelde buigtreksterkte is ruim voldoende voor sterkteklassen 1 en 2 en waarschijnlijk ook voor sterkteklasse 3 genoemd in EN 1339.

In par. 3.2.1 is al aangetoond dat de weersbestandheid (waterabsorptie en afschilfering vorstdooizoutproef) van beide geopolymeerbetonmengsels voldoen aan de gestelde eisen in EN 1338. Omdat de eisen voor deze beide eigenschappen in EN 1339 (betontegels) hetzelfde zijn, kan ervan uit worden gegaan dat betontegels vervaardigd met deze beide geopolymeermengsels eveneens aan deze eisen zullen voldoen.

Conclusie

Uit bovenstaande beschouwing mag worden afgeleid dat SQAPE geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV potentieel geschikte bindmiddelen zijn voor de vervaardiging van betontegels.

3.2.4. Betonbanden

Betonbanden moeten voldoen aan de norm EN 1340 'Trottoirbanden – Eisen en beproevingsmethoden'. In deze norm worden geen eisen gesteld aan de samenstelling van het beton, enkel aan de prestaties van het vervaardigde product. Daarom kan deze norm gebruikt worden om betonbanden vervaardigd met geopolymeer als bindmiddel te toetsen. In de Nederlandse beoordelingsrichtlijn BRL 2314 'Betonbanden' worden aanvullende eisen gesteld.

De belangrijkste eisen gesteld in deze norm en BRL betreffen wederom:

- Buigtreksterkte
- Weersbestandheid (waterabsorptie en afschilfering vorstdooizoutproef)

Er zijn geen gegevens aangeleverd van betonbanden vervaardigd met SQAPE geopolymeren. In par. 3.2.3 is aangegeven dat de gemiddelde buigtreksterkte van de betonmengsels vervaardigd met beide SQAPE geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV bij een W/B-verhouding van 0,30 op een niveau van ca. 6 MPa zal liggen. Dit is ruim voldoende voor sterkteklasse 1 (karakteristieke buigtreksterkte $\geq 3,5$ MPa) en waarschijnlijk ook voor sterkteklasse 2 (karakteristieke buigtreksterkte $\geq 5,0$ MPa) genoemd in EN 1340. Om sterkteklasse 3 (karakteristieke buigtreksterkte $\geq 6,0$ MPa) te realiseren, zal waarschijnlijk de samenstelling van de betonmengsels of de verhardingscondities dienen te worden aangepast.

In par. 3.2.1 is al aangetoond dat de weersbestandheid (waterabsorptie en afschilfering vorstdooizoutproef) van beide geopolymeerbetonmengsels voldoen aan de gestelde eisen in EN 1338. Omdat de eisen voor deze beide eigenschappen in EN 1340 (trottoirbanden) hetzelfde zijn, kan ervan uit worden gegaan dat betonbanden vervaardigd met deze beide geopolymeermengsels eveneens aan deze eisen zullen voldoen.

Conclusie

Op basis van bovenstaande beschouwing, kan worden gesteld dat SQAPE geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV potentieel geschikte bindmiddelen zijn voor de vervaardiging van betonbanden.

3.2.5. Betonnen zetstenen

Voor zetsteen van ongewapend beton is geen norm beschikbaar. De eisen en bepalingsmethoden voor dit betonproduct zijn vastgelegd in BRL 9080 'Zetsteen van ongewapend beton voor de natte waterbouw'. Een groot deel van de gestelde eisen, zoals vorm, dimensies, detailleringen, structuur en textuur wordt bepaald door het productieproces en wordt in dit kader niet nader beschouwd.

De eisen gesteld aan spijttreksterkte, wateropneming en vorstdooibestandheid zijn identiek aan de eisen gesteld in EN 1338 aan betonstraatstenen. De betonmengsels vervaardigd met beide SQAPE geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV, zoals aangeduid in tabel 1, voldoen aan deze eisen.

In BRL 9080 wordt als aanvullende eis een betonsterkteklasse van C30/37 voorgeschreven. Omdat de druksterkte van geopolymeerbeton meer dan een factor 10 hoger ligt dan de splijttreksterkte [2, 3], die van beide SQAPE-mengsels 5,6 MPa bedraagt (zie tabel 1), wordt eveneens ruimschoots aan deze eis voldaan. In [4] wordt voor geopolymeerbeton vervaardigd met GPM III (mengsel MI) een druksterkte gerapporteerd van 70 MPa. Op de website van SQAPE [8] wordt onder het thema 'zuurbestendigheid' bij een bindmiddelgehalte van 325 kg/m³ en 400 kg/m³ een druksterkte van respectievelijk 50 MPa en 70 MPa aangegeven. In lit. [9] worden 28-daagse druksterkten gerapporteerd voor het geopolymeerbeton met 350 kg/m³ GPM IV van 51-63 MPa.

Conclusie

Daarom kan worden gesteld dat SQAPE geopolymereen op basis van GPM III en GPM IV potentieel geschikt zijn om te worden toegepast als bindmiddel in betonnen zetstenen.

3.3. Agrarische betonproducten

De eisen die worden gesteld aan betonproducten die in de agrarische sector worden toegepast, staan vermeld in BRL 2812 'Agrarische betonproducten'. Deze BRL onderscheidt twee hoofdcategorieën:

- Vrijdragende betonelementen:
roostervloerelementen, dichte vloerelementen, onderslagbalken, opstortvloeren en ventilatieroosterelementen
- Betonnen wandelementen:
sleufsilowandelementen

De elementen moeten dusdanig zijn ontworpen dat de constructieve veiligheid in de beoogde gebruiksfunctie gedurende een periode van tenminste 15 jaar is gegarandeerd.

Bovengenoemde elementen worden, met uitzondering van de ventilatieroosterelementen, vanwege de aanwezige mest of kuilvoer toegepast in een voor beton agressief milieu. Door gevormde zuren (biogene zwavelzuurvorming of rottingsprocessen) kan de pH dalen tot een waarde van ca. 2 of zelfs nog lager. Bovendien kunnen hoge sulfaatgehalten ontstaan. Daarom wordt in BRL 2812 voor deze betonproducten een milieuklasse XA3 gehanteerd.

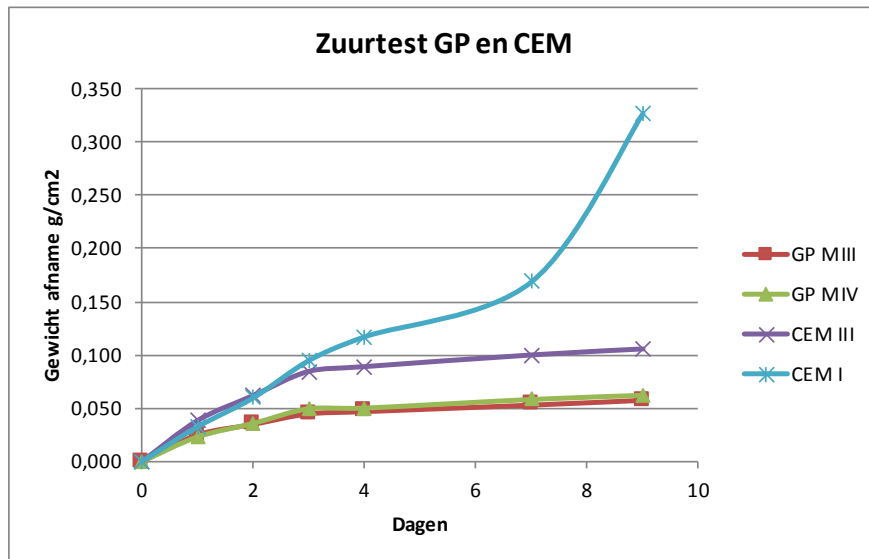
Milieuklasse XA3 houdt in dat het bindmiddelgehalte tenminste 340 kg/m³ moet bedragen, de waterbindmiddelfactor (W/B) maximaal 0,45 mag zijn en in een sulfaathoudend milieu gebruik moet worden gemaakt van een cement met een hoge bestandheid tegen sulfaten.

Van geopolymeerbeton is bekend dat ze goed bestand kunnen zijn tegen zuren en sulfaten, zelfs beter dan cementbeton [2-5]. Voorwaarde hierbij is wel dat het geopolymeer zich goed heeft kunnen vormen.

Door SQAPE zijn proeven uitgevoerd naar de zuurbestendigheid van geopolymeerbeton vervaardigd met SQAPE geopolymeer op basis van GPM III en GPM IV in vergelijking met cementbeton van vergelijkbare druksterkte (C50/60) [9-11]. De proefstukken zijn na 28 dagen verhardend ondergedompeld in een melkzuuroplossing met een pH van 3,0. De melkzuuroplossing wordt door een circulatiepomp continu in beweging gehouden. Dagelijks wordt de zuurgraad door toevoeging van geconcentreerd melkzuur bijgesteld naar de beoogde pH-waarde van 3,0.

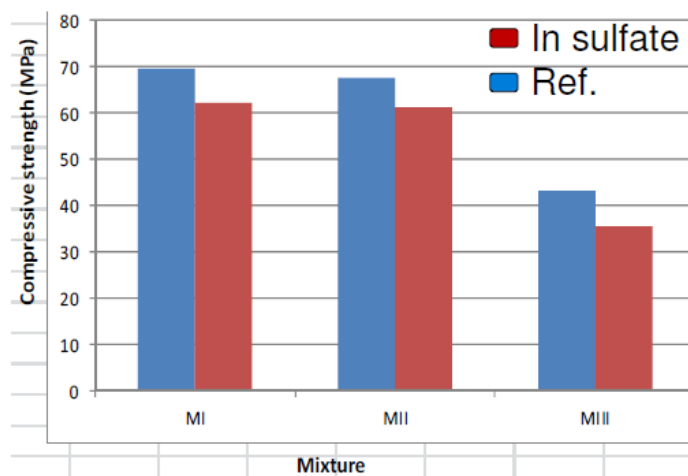
De gemeten massa-afname per eenheid van oppervlak als functie van de expositieduur is weergegeven in figuur 2. De samenstelling van de 2 mengsels geopolymeerbeton komen overeen met die aangegeven in tabel 1. Als referentie zijn betonmengsels met 400 kg/m³ CEM I respectievelijk CEM III/B en een watercementfactor van 0,40 onderzocht.

Uit figuur 2 blijkt duidelijk dat de massa-afname van het geopolymerbeton vervaardigd met de beide SQAPE-bindmiddelen slechts de helft bedraagt van die van beton gemaakt met CEM III/B cement. Zoals verwacht, is de zuuraantasting van CEM I beton nog beduidend hoger dan die van CEM III/B beton. De zuurbestendigheid van geopolymerbeton vervaardigd met SQAPE GPM III en GPM IV is dus superieur aan die van cementbeton van dezelfde druksterkte.



Figuur 2. Massa-afname door zuuraantasting als functie van de expositieduur [10]

De sulfaatbestendigheid van geopolymerbeton vervaardigd met SQAPE-bindmiddel GPM III is onderzocht door het Microlab van TU Delft [4]. De afname in druksterkte als gevolg van 28 dagen expositie in een 5% Na₂SO₄-oplossing is gemeten. De verkregen resultaten zijn getoond in figuur 3.



Figuur 3. Afname druksterkte na expositie in Na₂SO₄-oplossing (MI = SQAPE GPM III)

De afname in druksterkte voor het geopolymerbeton vervaardigd met SQAPE-bindmiddel GPM III (= betonmengsel MI) bedraagt 11%. In het onderzoek is geen cementbeton als referentie meegenomen,

zodat een directe vergelijking niet mogelijk is. Wel wordt in de beschouwing van [3] aangegeven dat de afname in druksterkte voor CEM I beton hoger is dan die voor geopolymerbeton.

Op basis van bovenomschreven onderzoek en de literatuur [3, 5] mag worden verwacht dat het SQAPE-bindmiddel een hoge bestandheid tegen sulfaten bezit.

Vanwege de hoge bestandheid tegen zuur- en sulfaataantasting kan worden gesteld dat de SQAPE geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV potentieel geschikt zijn voor toepassing in agrarische betonproducten conform BRL 2812, evenals in betonnen rioolbuizen en -putten.

Met SQAPE-bindmiddel GPM IV zijn als proef zogenaamde 'breedplaatvarkensroosters' geproduceerd [9]. Uit deze proeven blijkt dat het geopolymerbeton met 350 kg/m³ GPM IV na 28 dagen eenzelfde druksterkte vertoonde als het traditionele beton met 350 kg/m³ CEM I 52,5 N HES cement, waarbij tevens aan de vereiste sterkteklasse C45/55 werd voldaan. De druksterkte van het geopolymerbeton was na 2 en 7 dagen verhard en weliswaar beduidend lager dan die van het cementbeton, maar voldeed wel aan de gestelde eisen.

Ook de wateropname bleek van beide betonsoorten hetzelfde te zijn (ca. 3,8 %/m), in lijn met de waarde genoemd in tabel 1 voor betonstraatstenen.

Proeven met zowel azijnzuur (pH: 2,1 en 2,9) als melkzuur (pH: 2,1 en 2,9) bevestigden de beduidend betere zuurbestandheid van het geopolymerbeton ten opzichte van het cementbeton.

Conclusie

Aan de hand van de beschikbaar gestelde resultaten van laboratoriumonderzoek en praktijkproeven blijkt de geschiktheid van SQAPE geopolymer op basis van GPM III en GPM IV voor toepassing in agrarische betonproducten, evenals in betonnen rioolbuizen en -putten.

3.4. Betonverharding

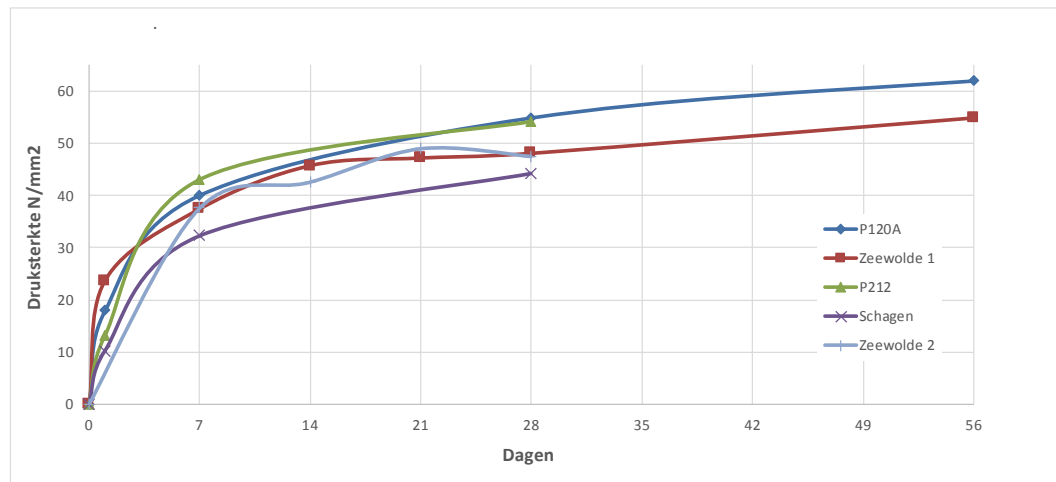
Betonverhardingen zijn volgens de Europese norm EN 13877 in het werk gestorte autowegen, opstelplatforms voor vliegvelden, voet- en fietspaden of terreinverhardingen. De functionele eisen die worden gesteld aan betonverhardingen zijn vastgelegd in EN 13877-2. De belangrijkste, materiaal gerelateerde eigenschappen zijn:

- Mechanische eigenschappen: druk-, splijttrek- en/of buigtreksterkte
- Vorstdooizoutbestandheid

Deze eigenschappen dienen te worden gemeten aan boorkernen uit het werk (gerealiseerde kwaliteit). Er is dan geen eenduidige relatie met de betonkwaliteit vastgelegd in EN 206 + NEN 8005 omdat verwerking en verhardingsomstandigheden van invloed zijn.

Geopolymerbeton vervaardigd met 350 kg/m³ GPM III als bindmiddel is in meerdere projecten toegepast. De ontwikkeling van de druksterkte, gemeten aan verhardingskubussen [13], is getoond in figuur 4. Uit dit figuur blijkt dat de druksterkte na 28 dagen tussen 44 en 55 MPa ligt. Dit komt overeen met een sterkteklasse van CC40 tot CC50 van EN 13877-2.

Uit figuur 4 blijkt tevens dat de druksterkte in de tijd verder toeneemt. Van proefkubussen P120A is de druksterkte-ontwikkeling tot een ouderdom van 1 jaar gemeten. Na 1 jaar bleek de druksterkte van dit geopolymerbeton te zijn opgelopen tot 77 MPa, 40% hoger dan de 28-daagse waarde.



Figuur 4. Druksterkte-ontwikkeling geopolymeerbeton met GPM III als bindmiddel [13]

Van geopolymeerbeton toegepast in een wegverharding zijn proefstukken, verhard onder laboratoriumcondities, onderzocht op E-modulus, buigtreksterkte en vorstdooizoutbestandheid [12]. De verkregen resultaten zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Eigenschappen geopolymeerbeton wegverharding

Eigenschap	Gemiddelde waarde
E-modulus (GPa):	
28 daagse	30,4
56 daagse	33,6
Buigtreksterkte (MPa):	
28 daagse	5,9
56 daagse	5,8
Vorstdooizoutproef massaverlies (kg/m ²):	
28 cycli	0,78
56 cycli	0,90

De gemeten buigtreksterkte komt overeen met buigtreksterkteklasse F4,5 van EN 13877-2.

Het gemeten massaverlies in de vorstdooizoutproef (CDF-proef) correspondeert met de categorie FT1 van EN 13877-2. Het gerapporteerde massaverlies is gemeten aan het betonoppervlak dat waarschijnlijk in een sterkere aantasting resulteert dan wanneer gemeten zou zijn aan het bulkbeton conform EN 13877-2. Daarom zal dit geopolymeerbeton waarschijnlijk ook voldoen aan de eisen voor categorie FT2 van EN 13877-2.

Conclusie

Uit het bovenstaande blijkt dat geopolymeerbeton vervaardigd met GPM III als bindmiddel geschikt is voor toepassing als betonverharding. Betondruksterkteklasse CC40, buigtreksterkteklasse F4,5 en vorstdooizoutbestandheidscategorie FT1 conform EN 13877 zijn ten minste realiseerbaar. Door aanpassing van de mengselsamenstelling zijn ook hogere klassen mogelijk.

4. CONCLUSIES

Op basis van de beschikbaar gestelde onderzoeksresultaten en de toetsing ervan aan betreffende normen en BRL's kan worden geconcludeerd dat SQAPE geopolymeren op basis van GPM III en GPM IV potentieel geschikt zijn om in te zetten in:

- Betonwaren: straatstenen, grastegels, betontegels, banden en zetstenen
- Agrarische betonproducten: vrijdragende betonelementen en betonnen wandelementen, evenals betonnen rioolbuizen en -putten
- Betonverhardingen, waarbij is aangetoond dat ten minste druksterkteklasse CC40, buigtreksterkteklasse F4,5 en vorstdooizoutbestandheidscategorie FT1 realiseerbaar is

Uiteraard dient voor betreffende toepassingen de samenstelling van het betonmengsel te worden afgestemd op de specifieke eigenschappen van deze geopolymeren en het toegepaste productieproces. Tevens moeten bij constructieve toepassingen het ontwerp en de uitvoering van de bouwdelen voldoen aan de gestelde eisen.

5. LITERATUUR

- [1]. 'Geopolymer concrete: the green alternative with suitable structural properties', 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials, Australia, 9-12 December 2014, p. 101-106.
- [2]. 'The fire resistance of alkali-activated cement-based concrete binders', chapter 16 of 'Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes', ed. F. Pacheco-Torgal et al., Elsevier, p. 423-461 (2015).
- [3]. 'The resistance of alkali-activated cement-based binders to chemical attack', chapter 14 of 'Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes', ed. F. Pacheco-Torgal et al., Elsevier, p. 373-396 (2015).
- [4]. 'Durability of geopolymer concrete', K. Arbi, TU Delft Microlab, (2016).
- [5]. 'Durability of alkali-activated cements and concretes', chapter 7 of 'Alkali-Activated Cements and Concretes', ed. C. Shi et al., CRC Press, p. 176-219 (2006).

Door SQAPE aangeleverde informatie:

- [6]. 'SQAPE Eigenschappen stenen, banden en tegels' (d.d. 24-02-2017 AK)
- [7]. 'Splijttreksterkte betonstenen en breuklast grastegels' (email d.d. 10-07-2017)
- [8]. Technische informatie op website SQAPE: <http://www.sgape.nl/technische-eigenschappen.htm>
- [9]. 'Verslag testdag6 Sqape – 7/3/2017 – Meer' (email d.d. 04-07-2017)
- [10]. '1 verzamel zuurbestendigheid testen SGS' (Excelbestand)
- [11]. 'Vergelijkende zuurtesten aardvochtige Geopolymeerbeton-testdag 6 Sqape – Meer' (email d.d. 04-07-2017)
- [12]. 'Onderzoeksresultaten RaMaC', een map met door B/A/S uitgevoerde metingen aan proefstukken geopolymeer wegverharding wat betreft buigtreksterkte, E-modulus en vorstdooizoutbestandheid (email d.d. 22-08-2017)
- [13]. 'Druksterkte kubussen RaMaC' (email d.d. 24-08-2017)

WWW.SGS.COM/INTRON

ABOUT SGS

SGS is the world's leading inspection, verification, testing and certification company and is recognized as the global benchmark for quality and integrity. With more than 90.000 employees, SGS operates a network of over 2.000 offices and laboratories around the world.

SGS INTRON B.V.

Dr. Nolenslaan 126
P.O. Box 5187
NL-6130 PD Sittard
t +31 (0)88 214 52 04

SGS INTRON B.V.

Venusstraat 2
P.O.Box 267
NL-4100 AG Culemborg
t +31 (0)88 214 51 00

SGS NETHERLANDS

Malledijk 18
P.O. Box 200
NL-3200 AE Spijkenisse
t +31 (0)181 693 333

SGS BELGIUM

SGS House
Noorderlaan 87
B-2030 Antwerpen
t +32 (0)3 545 44 00

WHEN YOU NEED TO BE SURE