

AEC-vulstof voor beton: nieuwe regelgeving voor een nieuwe vulstof

Angelo Sarabèr, namens CROW-werkgroep 'AEC-vulstof in Beton'

Sarabèr Consultancy

Mark van Kempen

Blue Phoenix Group

Ad van Leest

CROW

Gert van der Wegen

SGS Intron

De Nederlandse betonindustrie heeft jaarlijks grote hoeveelheden vulstoffen nodig. De behoefte aan vulstoffen is de afgelopen jaren gestegen als gevolg van de doelstellingen die de sector zich opgelegd heeft om beton meer circulair te maken. AEC-vulstof, die geproduceerd wordt uit AEC-bodemas, is één van de nieuwe vulstoffen die op de markt zijn gekomen om in deze behoefte te voldoen.

Deze bodemas is afkomstig van zogenaamde Afval Energie Centrales (AEC's) en heeft een aantal specifieke eigenschappen, waardoor dit materiaal na opwerking en maling geschikt is voor toepassing in beton. De AEC's bezitten roosterovens waarin huishoudelijk en daaraan gelijk gestelde afvalstoffen worden verbrand. De grove asdelen worden opgevangen in een waterbad en vervolgens opgewerkt. De opgewerkte bodemas wordt vervolgens nat gemalen tot de gewenste fijnheid, waarbij tevens ongewenste componenten verwijderd worden.

Op verzoek van de initiatiefnemer achter deze nieuwe vulstof (Blue Phoenix Group) is een CROW-werkgroep opgericht die tot doel heeft een adequate definities, eisen en regels op te stellen om de geschiktheid van de vulstof voor toepassing in beton te kunnen beoordelen. De scope van de toepassing blijft daarbij vooralsnog beperkt tot aardvochtige mengsels en ongewapend beton. In het kader van deze werkzaamheden is een materiaalkundig en milieuhygiënisch onderzoek uitgevoerd naar de eigenschappen van AEC-vulstof. Ook is een proefproductie straatstenen vervaardigd, waarbij AEC-vulstof is toegevoegd ter vervanging van een deel van het cement. Daarbij bleek dat AEC-vulstof een deel van het cement kan vervangen en daardoor een bijdrage kan leveren aan de CO₂-reductie van de betonindustrie.

Op basis van de onderzoeks- en testresultaten en de daaraan verbonden evaluatie is de CROW-CUR Aanbeveling inmiddels gereed. Deze is vervolgens gebruikt voor het uitbreiden van de scope van BRL 1804, die de keuring van type I vulstoffen voor beton beschrijft. De weg is daarmee open voor het certificeren van de eerste AEC-vulstof voor de Nederlandse markt.

I Inleiding

De Nederlandse betonindustrie gebruikt jaarlijks grote hoeveelheden vulstoffen. Met de in het Betonakkoord [1] vastgelegde doelstelling om de CO₂-emissie van beton nog verder te verlagen (ten minste met 30% en een ambitie van 49% reductie in 2030), is de behoefte aan met name puzzolane en latent-hydraulische vulstoffen sterk toegenomen. Daarbij is wel van belang dat toepassing van dergelijke vulstoffen niet ten koste gaat van de kwaliteit en de circulariteit van het beton. Dat is immers ook een doelstelling van het Betonakkoord (100% hergebruik van de betonreststromen als grondstof voor nieuw beton in 2030).

Er zijn dan ook veel initiatieven om nieuwe vulstoffen op de betonmarkt te brengen. Voor een succesvolle introductie én toepassing is het van belang dat een adequate definities, eisen en regels ter beschikking is om de kwaliteit van de vulstof op zijn merites te beoordelen. In die gevallen dat deze niet ter beschikking staat dient deze ontwikkeld te worden. In Nederland kent men de CROW-CUR Aanbevelingen. Deze vorm van pré-normatieve regelgeving maakt het mogelijk om binnen overzienbare tijd regelgeving te ontwikkelen, hetgeen aantrekkelijk is voor nieuwe innovatieve producten en materialen. Via deze route is recentelijk ook voor zogenaamde AEC-vulstof een Aanbeveling ontwikkeld als basis voor toekomstige KOMO-certificering.

In deze paper wordt achtereenvolgens ingegaan op de herkomst van AEC-vulstof, het uitgevoerde onderzoek, de ontwikkeling van de regelgeving en het toekomstperspectief.

2 Herkomst AEC-vulstof

Bij de verbranding van huishoudelijk afval en daaraan gelijkgestelde bedrijfsafvalstoffen in een afval-energiecentrale (AEC) komt AEC-bodemas vrij; in Nederland jaarlijks circa 1,9 miljoen ton. Dit materiaal bestaat uit de onbrandbare restanten uit het huishoudelijk en daaraan gelijkgesteld afval. Denk met name aan metalen, keramiek, glas, steen en tijdens de verbranding gevormde glasachtige bestanddelen. Na opwerking van de AEC-bodemas resteert een steenachtig materiaal dat in principe geschikt is voor toepassing in beton.

Een deel hiervan vindt, na opwerking tot AEC-granulaat conform CUR-Aanbeveling 116/Beoordelingsrichtlijn 2507, toepassing als toeslagmateriaal in betonstraatstenen en -tegels. Een nieuwe ontwikkeling met een wezenlijk andere functionaliteit is de opwerking van deze bodemas tot AEC-vulstof. Blue Phoenix Group (BPG) is de initiatiefnemer en ontwikkelaar van het procédé. Essentieel hierbij is dat na de gebruikelijke opwerking een natte maling plaatsvindt tot de gewenste fijnheid. Door deze natte maling kunnen de concentraties aan componenten die voor beton ongewenst zijn gereduceerd worden, met name sulfaten, chloriden en metallisch aluminium en zink. Daarnaast kan door de maling een verdergaande homogenisatie op microniveau bereikt worden, waardoor potentieel nadelige effecten op het niveau van toeslagmateriaal (platte stukken, ASR) vermeden worden.

3 Uitgevoerd onderzoek

3.1 Algemeen

Onder begeleiding van CROW-werkgroep NI794 'AEC-vulstof in ongewapend beton' is in opdracht van BPG uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de eigenschappen van de AEC-vulstof en de prestaties ervan in beton [2]. In dit onderzoek zijn zowel betontechnologische als milieuhygiënische aspecten van het eerste leven beton bepaald. Tevens is de geschiktheid van de grondstoffen verkregen na recycling van dit eerste leven beton, bepaald als toeslagmateriaal en vulstof in een tweede leven beton (circulariteit).

3.2 Karakterisering AEC-vulstof

Met een grootschalige proefinstallatie zijn door BPG AEC-bodemassen van drie geografisch verspreide AEC-centrales (Duiven, Rozenburg en Delft) verwerkt tot AEC-vulstof met een gemiddelde korrelgrootte van ca. 8 µm, vergelijkbaar met die van de kalksteenmeel (10 µm) die als referentie in het betononderzoek is betrokken. De resultaten van de chemische analyses van de drie monsters AEC-vulstof zijn getoond in tabel 1. In de laatste kolom zijn de eisen van de huidige BRL 1804 opgenomen [3]. Deze BRL bevat de keuringssystematiek voor inerte vulstoffen in beton.

Tabel 1 Karakterisering AEC-vulstoffen

Eigenschap	Eenheid	AEC-1	AEC-2	AEC-3	Generieke eis Huidige BRL 1804
Som $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ¹	%(m/m)	65,4	66,9	69,0	-
CaO	%(m/m)	18,2	17,0	16,4	-
Oplosbaar (HCl/ Na_2CO_3)	%(m/m)	41,7	43,5	44,1	-
Sulfaat, wateroplosbaar (SO_3)	%(m/m)	1,18	0,70	0,88	-
Sulfaat, zuuroplosbaar (SO_3)	%(m/m)	2,10	1,31	1,65	≤ 4,0
Chloride, wateroplosbaar	%(m/m)	0,19	0,11	0,29	-
Chloride, zuuroplosbaar	%(m/m)	0,32	0,23	0,42	-
Alkali-equivalent, XRF	%(m/m)	4,8	4,8	4,6	≤ 5,0
Oplosbaar fosfaat (P_2O_5)	%(m/m)	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	-
Metallisch aluminium + zink	%(m/m)	< 0,03	< 0,03	< 0,03	-
TOC ²	%(m/m)	5,8	2,0	0,69	-

¹) de elementen zijn weergegeven in oxidevorm (geologische notatie). Dit wil echter niet stellen dat de elementen ook als oxide aanwezig zijn.

²) Total Organic Carbon

Ondanks de verschillende herkomst van de AEC-bodemassen als uitgangsmateriaal voor het opwerkings- en maalproces, vertonen de daarmee geproduceerde AEC-vulstoffen slechts een geringe variatie in de onderzochte chemische eigenschappen, met uitzondering van het gehalte aan organische stof (TOC). De hoge waarde van 5,8 %(m/m) is bewust meegenomen om de invloed ervan op de betoneigenschappen te kunnen vaststellen (en valt buiten de te verwachten productierange). De geringe variatie in eigenschappen is ook gebleken uit de elementaire en mineralogische samenstelling van de betreffende AEC-vulstoffen [2]. AEC-vulstof bestaat voor 2/3 deel uit amorf materiaal (o.a. glas) met daarnaast kwarts, meliliet en calciet als belangrijkste kristallijne bestanddelen [2]. Het hoge gehalte aan amorf siliciumhoudend materiaal is de reden dat AEC-vulstof een puzzolaan is. Het sulfaat- en alkaligehalte van de drie onderzochte AEC-vulstoffen voldoen aan de generieke eisen gesteld in BRL 1804. Uit het karakteriseringsonderzoek zijn geen concentraties aan bestanddelen naar voren gekomen die een belemmering zouden kunnen vormen voor de toepassing van deze AEC-vulstoffen in beton.

3.2 Betononderzoek I^e leven

Bij een betonfabriek te Drachten zijn betontegels vervaardigd waarbij 25 %(m/m) van het cement is vervangen door de 3 AEC-vulstoffen. Als referenties zijn betontegels vervaardigd zonder cementvervanging (REF) en met 25 %(m/m) cementvervanging door kalksteenmeel (KSM). De samenstelling van deze betonmengsels is weergegeven in tabel 2. De gemeten eigenschappen van de betontegels na 28 dagen verharden zijn samengevat in tabel 3.

Tabel 2 Samenstelling¹⁾ vervaardigde betontegels (in kg/m³)

Component	REF	KSM	AEC-1	AEC-2	AEC-3
CEM I 52,5 N	289	219	218	219	219
Vulstof	0	79	73	73	73
Water (effectief)	80	89	106	106	105
Absorptiewater (in toeslagmateriaal)	11	11	11	11	11
Zand 0-2	791	791	801	794	790
Graniet 2-8	1154	1154	1152	1177	1157
WBF ² (effectief)	0,28	0,30	0,36	0,36	0,36

¹⁾ Exclusief ca. 5% V/V lucht²⁾ Waterbindmiddelfactor

Tabel 3 Eigenschappen 28 dagen verhard beton

Eigenschap	REF	KSM	AEC-1	AEC-2	AEC-3
Volumieke massa (kg/m ³)	2180	2210	2280	2260	2270
Ultrasone snelheid (km/s)	3,98	4,07	4,17	4,10	4,06
Berekende dyn. E-modulus (GPa) ¹⁾	31,0	32,9	35,7	34,2	33,7
Buigtreksterkte (MPa)	5,6	5,6	8,5	7,3	7,6
Druksterkte (MPa)	31,7	n.b.	53,9	51,8	53,6
Verhouding buigtrek/druksterkte(%)	18	n.b.	16	14	14
Afschilfering na 14 cycli (kg/m ²)	0,01	0,01	0,03	0,73	1,3
TOC-gehalte AEC-vulstof (%m/m)	-	-	5,8	2,0	0,69

¹⁾ Berekend met $E_{dyn} = 0,9\rho v^2$ (aannahme Poisson's ratio = 0,2)

Met de AEC-vulstoffen als gedeeltelijke cementvervanger kunnen aardvochtige betonproducten worden vervaardigd met een goede (buig)trek- en druksterkte, zelfs hoger dan die van het referentiebeton (geen cementvervanging). De vorstdooizoutbestandheid van het beton met AEC-vulstoffen varieert sterk: van zeer hoog (vergelijkbaar met het referentiebeton) tot een niveau dat minimaal vereist wordt in betreffende productnorm (NEN-EN 1339). Deze variatie kan niet verklaard worden door de waterabsorptie en/of de effectieve water-'bindmiddelfactor' van het betreffende beton. De hogere TOC-gehaltes in AEC-vulstof hebben geen nadelig effect op de vorstdooizoutbestandheid van het beton met deze AEC-vulstoffen.

3.3 Betononderzoek 2^e leven: circulariteit

Betontegels zonder vulstof (REF), met kalksteenmeel (KSM) en met vulstof AEC-3 zijn na twee maanden versneld hydrateren bij 40°C, verkleind met een kaakbreker, waarbij vervolgens de fractie 4-22 mm droog is uitgezeefd. De korrel dichtheid (ρ_{rd}) van deze 3 betongranulaten waren identiek: 2230 kg/m³. De waterabsorptie na 24 uur was van het betongranulaat met AEC-3 enigszins lager dan die van REF en KSM (6,0 versus 6,4 % (m/m)).

Betontechnologisch

Met bovengenoemde drie monsters betongranulaat als grof toeslagmateriaal zijn opnieuw betonmengsels vervaardigd met de samenstelling zoals getoond in tabel 4. Een aantal eigenschappen van deze betonmengsels is eveneens weergegeven in de tabel.

Tabel 4 Samenstelling en eigenschappen 2^e leven beton

Eigenschap	Betongranulaat REF	Betongranulaat KSM	Betongranulaat AEC-3
Betonsamenstelling (kg/m ³):			
CEM I 42,5 N	320	320	320
Water effectief	160	160	160
Absorptiewater	70	70	66
Betongranulaat 4-22 mm	1049	1049	1049
Rivierzand 0-4 mm	666	666	666
Specie eigenschappen			
Zetmaat (mm)	110	120	130
Schudmaat (mm)	400	390	420
Temperatuur (°C)	19,3	19,0	18,8
Luchtgehalte (%V/V)	1,8	1,8	1,9
Volumieke massa (kg/m ³)	2235	2255	2245
Eigenschappen verhard beton			
Kubusdruksterkte (MPa) na:			
7 dagen	36,5	34,1	36,0
28 dagen	42,4	42,8	44,0
Volumieke massa (kg/m ³) na:			
7 dagen	2290	2290	2280
28 dagen	2290	2280	2290
Maximale waterindringing (mm)	24	25	13
Chloridemigratiecoëfficiënt ($\cdot 10^{-12}$ m ² /s)	22,0	21,6	15,7

Ondanks de beperkte omvang van dit onderzoek mag worden gesteld dat de betontechnologische kwaliteit van betongranulaat met AEC-vulstoffen vergelijkbaar is met die van regulier betongranulaat en daarmee geen beperking vormt voor een 2^e leven toepassing.

Milieuhygiënisch

De uitloging van het betongranulaat zonder vulstof (REF) en van het betongranulaat met vulstof AEC-3 is bepaald met de kolomproef volgens NEN 7383 ten behoeve van toetsing aan het Besluit Bodemkwaliteit. Uit dit onderzoek bleek dat betongranulaat met AEC-3 wat betreft de componenten: barium, chroom, koper, molybdeen en chloride een hogere uitloging vertoont dan het betongranulaat zonder vulstof (REF). Deze uitloging voldoet echter in alle gevallen nog ruimschoots aan de eisen van het BBK. Geconcludeerd mag worden dat de milieuhygiënische kwaliteit van betongranulaat met AEC-vulstoffen vergelijkbaar is met die van regulier betongranulaat en geen beperking vormt voor een 2^e leven toepassing.

4 Ontwikkeling regelgeving voor AEC-vulstof

Op basis van de verkregen inzichten is CROW-CUR Aanbeveling 128 [4] opgesteld, waarin definities, eisen en regels voor AEC-vulstof zijn vastgelegd. De Aanbeveling geldt enkel voor AEC-vulstof die wordt geproduceerd uit AEC-bodemas afkomstig uit een AEC-installatie met een zogenaamde natte ontslakker, waarbij naast de voor bodemas gebruikelijke bewerkingsstappen, met name zeven en het verwijderen van ferro- en non-ferrometalen, heel specifiek een nat maalproces is inbegrepen. De Aanbeveling is bedoeld voor AEC-vulstof die wordt toegepast in ongewapende, niet-constructieve betonproducten vervaardigd met betonspecie van consistentieclassen C0 (droog) en C1 (aardvochtig) en met een maximale dosering aan AEC-vulstof van 140 kg/m³.

De eisen die gesteld worden aan de prestatie-eigenschappen van de AEC-vulstof zijn gelijk aan de eisen die voor elke type I vulstof gelden, namelijk invloed op bindtijd, sterkte en vormhoudendheid). De eisen die standaard gelden voor de materiaaleigenschappen (korrelverdeling, Na₂O-equivalent, methyleenblauwabsorptie, chloriden, sulfaten), zijn op grond van het uitgevoerde onderzoek aangevuld met eisen voor TOC en gehalte metallisch aluminium en zink.

Op basis van de ontwikkelde aanbeveling is BRL 1804 Vulstof voor toepassing in beton en mortel uitgebreid met AEC-vulstof en zijn er aanvullende eisen gesteld (ten tijde van het schrijven van deze paper, bevond de voorgesteld aanpassing zich nog in de acceptatieprocedure). Door deze keuringsystematiek wordt de weg vrij gemaakt naar KOMO-certificering.

5 Toekomstperspectief

Door het uitfasen van kolengestookte centrales in Noordwest Europa is er een teruglopend aanbod aan poederkoolvliegias. Het daardoor ontstane gat zal bij voorkeur worden opgevuld door reactieve secundaire vulstoffen. Het grote volume aan AEC-bodemas maakt dit tot een aantrekkelijk alternatief mits de kwaliteit goed is en er ook een breed toepassingsgebied mogelijk is. BPG werkt aan verdere verbetering van de vulstof om deze geschikt te maken voor een breder toepassingsgebied.

Momenteel is gestart met de bouw van een demonstratie-installatie in Duiven. De capaciteit van deze installatie bedraagt circa 10.000 ton/jaar vulstof. Het streven is dat de installatie de tweede helft van dit jaar in bedrijf genomen wordt.

De huidige regelgeving voor beton stelt, afhankelijk van de milieuklasse, maximale waarden aan de waterbindmiddelfactor en minimale waarden aan het bindmiddelgehalte. Het aandeel AEC-vulstof, evenals sommige andere in ontwikkeling zijnde vulstoffen, mag daarbij niet meegerekend worden. De reactiviteit van dergelijke vulstoffen kan daardoor qua huidige betonregelgeving in Nederland niet ten volle benut worden. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld poederkoolvliegias, waarbij via het k-waarde en attesteringsconcept de reactiviteit wel meegenomen wordt in de berekening van de waterbindmiddelfactor en minimaal bindmiddelgehalte.

6 Conclusies

Het uitgevoerde onderzoek geeft aan dat AEC-vulstof een geschikte grondstof is voor toepassing in ongewapende niet-constructieve betonproducten vervaardigd met aardvochtige betonspecie. De ontwikkelde CROW-CUR Aanbeveling verschaft de definities, eisen en regels die noodzakelijk is als basis voor de keuringssystematiek, om te komen tot keuring en certificatie, zodat de kwaliteit gewaarborgd kan worden.

Tevens is aangetoond dat door toepassing van AEC-vulstof in dergelijke betonproducten, de materiaalstromen ontstaan door recycling van dat beton opnieuw als grondstof in een 2^e leven beton kunnen worden toegepast.

Daarmee kan AEC-vulstof op termijn een belangrijke bijdrage leveren aan onze duurzaamheidsambities vastgelegd in het Betonakkoord.

LITERATUUR

1. <https://www.betonakkoord.nl/>
2. Onderzoek geschiktheid nat gemalen AEC-bodemas als vulstof in ongewapend aardvochtig beton, SGS INTRON rapport A117460/R20210149d, juli 2021.
3. Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO® productcertificaat voor 'Vulstof voor toepassing in beton en mortel', BRL 1804, 2019.
4. AEC-vulstof in ongewapend aardvochtig beton, CROW-CUR Aanbeveling 128, 2021.