

Rapport

Projectnummer: 363847

Referentienummer: SWNL0241488



Datum: 29-03-2019

Onderzoek alternatieve funderingsmaterialen in de provincie Limburg

Definitief

Opdrachtgever:
Provincie Limburg
Limburglaan 10
6229 GA MAASTRICHT

Verantwoording

Titel	Onderzoek alternatieve funderingsmaterialen in de provincie Limburg
Projectnummer	363847
Referentienummer	SWNL02414883
Revisie	D1
Datum	29-03-2019
Auteur(s)	Siem van den Berg / Stephan van der Walt
E-mailadres	siem.vandenberg@sweco.nl
Gecontroleerd door	Ron Vlassak
Paraaf gecontroleerd	
Goedgekeurd door	Eline van Sintemaartensdijk
Paraaf goedgekeurd	

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Algemeen	5
1.2	Civieltechnische eigenschappen	5
1.3	Milieuhygiënische kwaliteit	7
2	Betongranulaat	9
2.1	Algemeen	9
2.2	Civieltechnisch	9
2.3	Milieuhygiënisch	10
3	Menggranulaat	12
3.1	Algemeen	12
3.2	Civieltechnisch	12
3.3	Milieuhygiënisch	13
4	Hydraulisch menggranulaat algemeen	15
4.1	Algemeen	15
4.2	Civieltechnisch	15
4.3	Milieutechnisch	17
5	Hydraulisch menggranulaat met LD-mix	18
5.1	Algemeen	18
5.2	Civieltechnisch	19
5.3	Milieutechnisch	20
6	Hoogovenslakkenmengsel	21
6.1	Algemeen	21
6.2	Civieltechnisch	21
6.3	Milieuhygiënisch	22
7	Fosforslakmengsel	24
7.1	Algemeen	24
7.2	Civieltechnisch	24
7.3	Milieuhygiënisch	25
8	Zandcement	27
8.1	Algemeen	27
8.2	Civieltechnisch	27
8.3	Milieuhygiënisch	28
9	AEC-bodemas	30
9.1	Algemeen	30
9.2	Civieltechnisch	31
9.3	Milieuhygiënisch	31

10	Immobilisatie.....	33
10.1	Algemeen	33
10.2	Civieltechnisch.....	33
10.3	Milieuhygiënisch	34
11	Asfaltgranulaat	36
11.1	Algemeen	36
11.2	Civieltechnisch.....	36
11.3	Milieuhygiënisch	38
12	Cement Treated Base	39
12.1	Algemeen	39
12.2	Civieltechnisch.....	39
12.3	Milieuhygiënisch	40
13	Algemene aspecten	41
13.1	Algemeen	41
13.2	Materialen vergelijking	41
13.3	Verkrijgbaarheid in Limburg	41
13.4	Kwaliteitsborging tijdens de uitvoering.....	41
13.5	Risico's.....	42
13.6	Afwegingstabel	42

Bijlage 1	Afwegingstabel
Bijlage 2	Restlevensduur en LCC-analyses
Bijlage 3	Artikel Magneetproef

1 Inleiding

1.1 Algemeen

De provincie Limburg past in haar wegfunderingsconstructies standaard beton- of menggranulaat toe. Om te bezien of er anno 2019 geschikte alternatieve funderingsmaterialen zijn is aan Sweco Nederland B.V. gevraagd om deze alternatieve materialen te beoordelen.

In dit rapport zijn de funderingsmaterialen beschreven. Bij het opstellen van het rapport is gebruikgemaakt van de kennis binnen Sweco waarbij ook CROW-publicatie 341 'Handboek funderingsmaterialen in de Wegenbouw' is gebruikt.

De verschillende materialen zijn per hoofdstuk beschreven waarbij zowel de civiel-technische als de milieuhygiënische kwaliteit is aangegeven. De materialen zijn met name beoordeeld ten opzichte van het standaard funderingsmateriaal menggranulaat dat de provincie standaard toepast in fietspadconstructies. Bentongranulaat wordt standaard toegepast in wegconstructies, maar het is om markttechnische en duurzaamheidsredenen de vraag of dit in 2019 nog de juiste keuze is.

De beschreven materialen betreffen de standaard wegenbouwfunderingsmaterialen zoals beton- en menggranulaat, alsmede hydraulisch menggranulaat. Maar ook de in het verleden veel toegepaste funderingsmaterialen zoals fosfor- en hoogovenslakken, zandcement en asfaltgranulaat, elk met hun specifieke voor- en nadelen. Tevens is een aantal min of meer nieuwe materialen opgenomen als immobilisatie, AEC-bodemas en Cement Treated Base. Van deze materialen zijn soms nog niet alle voor- en nadelen bekend en zijn (mede hierdoor) minder goed beschreven in de Standaard RAW. Ook is nog onderzocht of de mogelijkheden van de verwerking van baggerslib in een wegfundering zodanig zijn om op te nemen in deze rapportage. De ontwikkelingen van deze optie zijn echter nog niet zo ver dat algemene uitgangspunten voor een dergelijke funderingsconstructie kunnen worden gegeven.

1.2 Civieltechnische eigenschappen

1.2.1 Ongebonden funderingen

Voorbeelden van ongebonden materialen zijn Bims (puinsteen), lavasteen, metselwerkgranulaat en steenslag.

De volgende eigenschappen spelen een rol in de haakweerstand:

- a) Korrelvorm en -textuur. Een ruw, ongelijkmatig korrelopervlak heeft een grotere haakweerstand dan een glad en vlak oppervlak.
- b) Korrelverdeling. Overdracht van spanning afhankelijk van het aantal contactvlakken tussen korrels. De korrelverdeling is dus in combinatie met de mate van verdichting bepalend voor het aantal contactvlakken en dus schuifsterkte van materialen.
- c) Korrelsterkte. Vermogen van korrels in een slecht gegradeerd steenskelet om de spanning te kunnen opnemen zonder verbrijzeling. De zwakste korrel in dit steenskelet is tevens de zwakste schakel voor de lastspreiding.

1.2.2 Zelfbindende fundering

Het principe van krachtoverdracht in een zelfbindende fundering is in hoofdlijnen hetzelfde als bij de ongebonden fundering. De stijfheid en weerstand tegen permanente vervorming zijn kort na aanleg gelijk aan een ongebonden fundering en naarmate de stijfheid onder de invloed van de activator of stabilisator toeneemt, neemt de weerstand tegen permanente vervorming ook toe. Voorbeelden van deze materialen zijn hoogovenslakkenmengsel, menggranulaat, betongranulaat en hydraulisch menggranulaat.

De volgende eigenschappen spelen een rol in de toename van stijfheid na aanleg:

- Voldoende hoeveelheid fijn materiaal in het mengsel. Als de fijnere fracties ontbreken, is het aantal contactpunten gering en heeft de bindingsactiviteit weinig effect op de stijfheidsontwikkeling van het materiaal.
- Aanwezigheid van een stabilisator of activator.
- Vochtgehalte en verdichtingsgraad.
- Korrelsterkte. Vermogen van korrels in een slecht gegradeerde steenskelet-materiaal om spanning op te nemen zonder verbrijzeling. De zwakste korrel in het steenskelet is tevens de zwakste schakel voor de lastspreiding.

1.2.3 Gebonden fundering

Oorspronkelijk is een gebonden fundering grof tot fijnkorrelig steenachtig materiaal met een bindmiddel van soms kalk, cement of schuimbitumen. Gemengd zorgt dit voor onderlinge verkittung van de korrels en de toename van sterkte en stijfheid. Gebonden funderingen gedragen zich in termen van lastspreiding als een stijve, homogene plaat. De materiaaleigenschappen als vermoeiing en de horizontale rek aan de onderzijde van de fundering zijn de maatgevende eigenschappen. De mechanische en duurzaamheidseigenschappen zijn afhankelijk van de eigenschappen en de bindingscapaciteit van de gebruikte bindmiddelen zoals cement en/of bitumen.

Voorbeelden van deze materialen zijn gebonden asfaltgranulaat (BRAC), immobilisaat, schuimbitumenstabilisatie en Cement Treated Base (CTB).

In Tabel 1-1 is de draagkracht afhankelijk van de relevante materiaaleigenschappen voor ongebonden, zelfbindende en gebonden funderingen aangegeven.

Tabel 1-1 Relatie eisen aan materiaaleigenschappen/soort fundering (CROW-publicatie 341)

Materiaaleigenschap	Ongebonden	Zelfbindend	Gebonden
Dichtheid	■	■	■
Stijfheidsmodulus	■	■	■
Bindcapaciteit	-	■	-
Haakweerstand	■	■	-
Druksterkte	-	-	■
Treksterkte en breukrek	-	□	■
Vermoeiingssterkte	-	□	■
Weerstand teen permanente vervorming	■	■	□

■ = Sterke relatie

□ = Zwakke of incidentele relatie

- = geen relatie

Er bestaat een aantal methodes om de draagkracht, of te wel stijfheid van het aangebrachte funderingsmateriaal, te beoordelen, zoals de Light Weight Deflectometer (LWD) en de Falling Weight Deflectometer (FWD).

Aangezien in Nederland nog geen geaccepteerde eisen beschikbaar zijn voor de toetsing van de draagkracht met behulp van FWD of LWD en geen geaccepteerde modellen om de stijfheidsmoduli gemeten tijdens aanleg om te zetten naar waarden die gedurende de gebruiksfase kunnen worden gehaald, worden draagkrachtmetingen op de aangebrachte fundering nog maar weinig uitgevoerd.

Aangezien de materiaaleigenschappen, laagdikte en verdichtingsgraad een directe relatie hebben met de draagkracht van de constructie, wordt kwaliteitsbeoordeling aan het hand van de Standaard RAW Bepalingen getoetst:

- Bij levering van het materiaal moet het materiaal voldoen aan de eisen voor samenstelling en korrelverdeling.
- Gebonden funderingen worden verder gecontroleerd op laagdikte en druksterkte.
- Ongebonden funderingen worden getoetst op verdichtingsgraad en laagdikte.

1.3 Milieuhygiënische kwaliteit

De eisen die gesteld worden aan de milieuhygiënische kwaliteit van wegfunderingsmaterialen moeten voldoen aan het Besluit en de Regeling bodemkwaliteit. In deze regelgeving zijn eisen opgenomen ten aanzien van de gehalten aan stoffen die aanwezig mogen zijn in het materiaal. Veelal zijn dit de organische stoffen, maar ook asbest. Hiernaast zijn eisen opgenomen ten aanzien van de uitloging (emissie) aan stoffen die tijdens de toepassing uit de fundering mogen logen. Veelal zijn dit de anorganische stoffen (metalen of zouten).

Op basis van de gestelde milieueisen, ten aanzien van de gehalte aan stoffen en de uitloging, worden materialen als volgt geclassificeerd en mogen op basis hiervan wel of niet in een constructie worden toegepast. In Tabel 1-3 zijn de verschillende mogelijkheden op basis van milieukwaliteit van de materialen weergegeven.

Tabel 1-2 Indeling milieukwaliteit funderingsmaterialen met de toepassing

Onderdeel	Voldoet	Classificatie	Toepassing
Samenstelling	Ja	NV-Bouwstof of	Mag vrij worden toegepast in een
Uitloging	Ja	V-bouwstof	wegconstructie
Samenstelling	Ja	IBC-Bouwstof	Mag onder IBC-condities worden
Uitloging	Nee		toegepast
Samenstelling	Nee	Niet toepasbaar	Mag niet worden toegepast.
Uitloging	Ja of Nee		

In Tabel 1-2 zijn NV-bouwstoffen (niet vormgegeven) en V-bouwstoffen (vormgegeven) aangegeven. Beide bouwstoffen worden als funderingsmateriaal toegepast. Meng- en betongranulaat en slakken zijn voorbeelden van NV-bouwstoffen en immobilisaat en zandcement zijn voorbeelden van V-bouwstoffen. In deze rapportage gaan wij uit van funderingsmaterialen die vrij mogen worden toegepast en dus voldoen aan de hierbij horende samenstellings- en uitloogeisen.

Opmerking:

In de praktijk is het verwarrend dat de milieukwaliteitsaanduiding van een materiaal de classificatie van 'Bouwstof' heeft.

Bij aanvoer van funderingsmateriaal wordt de milieukwaliteit aangetoond door middel van een 'wettelijk bewijsmiddel' in het kader van het Besluit bodemkwaliteit. Zie Tabel 1-3.

Tabel 1-3 Verschillende bewijsmiddelen voor de milieukwaliteit

Mogelijkheden	Wettelijk bewijsmiddel	Op basis van
Certificaat	NL-BSB-Certificaat	Een beoordelingsrichtlijn voor het product
Partijkeuring	Rapport partijkeuring	SIKB-protocol
Fabrikant eigen verklaring	Verklaring van fabrikant	Regeling bodemkwaliteit

De meeste funderingsmaterialen toegepast in de wegenbouw zijn voorzien van een NL-BSB-bouwstoffen-certificaat. Op dit certificaat zijn de volgende aspecten aangegeven:

- leverancier en productielocatie;
- certificerende instelling;
- certificaatnummer;
- toepassing eisen of aanwijzingen;
- verplichte aanduidingen op de afleverbon.

De ontvanger van de bouwstof moet het certificaat en de afleverbonnen minimaal 5 jaar bewaren als bewijsmateriaal dat voldaan wordt aan het Besluit bodemkwaliteit.

Soms worden funderingsmaterialen toegepast op basis van een partijkeuring. Het wettelijk bewijsmiddel is dan een rapportage waarin is beschreven op welke wijze het depot met funderingsmateriaal is bemonsterd en geanalyseerd. Zowel de bemonstering als de analyse moet worden uitgevoerd door erkende organisaties.

In sporadische gevallen worden funderingsmaterialen toegepast op basis van een 'Fabrikant eigen verklaring'. In een dergelijk geval garandeert de leverancier door middel van een dergelijke verklaring dat het materiaal voldoet aan de eisen van het Besluit bodemkwaliteit. De verklaring moet wel zijn opgenomen in de lijst met 'Fabrikant eigen verklaringen' van Bodem+.

2 Betongranulaat

2.1 Algemeen

Betongranulaat is een mengsel verkregen door het breken van betonpuin afkomstig van selectieve sloop van betonconstructies. Het materiaal moet voor minimaal 80% [m/m] bestaan uit betonpuin. Betongranulaat wordt toegepast in (zwaarbelaste) wegconstructies, maar ook steeds meer in betonmortel als grindvervanger. De samenstelling van betongranulaat en de eisen waaraan het materiaal moet voldoen, zijn opgenomen in de Standaard RAW Bepalingen 2015 artikel 80.16.06.



Betongranulaat 0/31,5

Standaard wordt de gradering 0/31,5 toegepast, maar er is ook een gradering van 0/16 te verkrijgen. Betongranulaat heeft een hydraulische werking waardoor het materiaal in een wegfundering in een bepaalde mate wordt gebonden.

Betongranulaat is beperkt verkrijgbaar op een aantal locaties in Limburg, waar het wordt geproduceerd wordt door stationaire puinbrekers.

2.2 Civieltechnisch

Het mengsel bestaat uit ten minste 80 procent gebroken grind- en steenslagbeton en voor ten hoogste 10 procent uit overige gebroken steen en steenachtig materiaal. Het materiaal wordt geclassificeerd als zelfbindend.

2.2.1 Draagkracht

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste materiaaleigenschappen van de draagkracht weergegeven. Een fundering van betongranulaat in een laagdikte van 250 mm heeft op basis van deze eigenschappen een zeer goede draagkracht.

Materiaaleigenschap	Bepalingen
Dichtheid	1.800 kg/m ³ - 1.900 kg/m ³ 98% - 104% van maximum proctordichtheid
Stijfheid	
• CBR onmiddellijk	≥50%
• Toename in CBR naar 28 dagen	≥125%
• Oppervlakt modulus	80 MPa – 100 MPa
• Ontwerp Stijfheidsmodulus	600 MPa
• Stijfheidsmodulus (26 weken)	200 MPa – 2000 MPa
Haakweerstand	
• Cohesie	100 – 200 na aanleg > 500 na 13 weken
• Hoek van inwendige wrijving	43 – 45 na aanleg 5 – 25 na 13 weken
Druksterkte	NVT
Treksterkte en breukrek	NVT
Vermoeiingssterkte	NVT
Weerstand teen permanente vervorming	Afhankelijk van korrelverdeling en verdichting

2.2.2 Verwerkbaarheid

Betongranulaat wordt geleverd door een stationaire puinbreker of vanuit een plaatselijk depot na productie door een mobiele breker. Bij de aanleg van een betongranulaat-fundering is het van belang om de homogeniteit ten aanzien van de korrelverdeling te bewaken. Bij het laden, transport en levering en de verwerking kan door onzorgvuldigheid een zodanige ontmenging optreden dat plaatselijk geen goede verdichting wordt gerealiseerd.

2.2.3 Levensduur

De levensduur wordt bepaald door de ontwerplevensduur. Van betongranulaat zijn er geen beperkingen.

2.2.4 Hergebruik

Betongranulaat kan na breken weer opnieuw als betongranulaat worden toegepast. Wel dient er aandacht te zijn voor eventuele opgedane verontreinigingen in de gebruiksfase. Het breken kan plaatsvinden in situ op het werk. Of betongranulaat in haar 2^e leven weer hetzelfde bindingsvermogen heeft is onbekend.

2.2.5 Toepassingsaspecten

Een homogene spreiding zodat ontmenging wordt voorkomen en voldoende vocht zijn voorwaarden voor een optimale fundering. Hiernaast is het van belang om stofvorming te voorkomen en het realiseren van een optimale verdichting.

2.3 **Milieuhygiënisch**

2.3.1 Kwaliteitsgarantie

Betongranulaat wordt geproduceerd onder de 'Nationale Beoordelingsrichtlijn voor Recyclinggranulaten', 2506-2. Op basis van deze BRL wordt het productcertificaat door de leverancier afgegeven. Met dit certificaat wordt aangetoond dat het materiaal voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit en dat het vrij in een civiel werk mag worden toegepast.

2.3.2 Kritische stoffen

Betongranulaat kent geen kritische stoffen.

2.3.3 Mate van circulariteit

Betongranulaat bestaat uit gebroken materialen afkomstig uit bouw- en sloopafval. Omdat van afval weer een bouwstof wordt gemaakt dat toepasbaar is, is betongranulaat circulair. Dit geldt met name indien betongranulaat wordt toegepast in betonmortel. Toepassing als funderingsmateriaal is minder circulair, omdat het materiaal ook hoogwaardiger in betonmortel kan worden toegepast.

Indien een wegconstructie met een fundering van betongranulaat bij een reconstructie wordt opgebroken kan het materiaal in principe weer opnieuw worden toegepast als funderingsmateriaal. Omdat de fundering gebonden zal zijn door de hydraulische werking, is het waarschijnlijk noodzakelijk om het materiaal te breken. Hierdoor is het materiaal na een bewerking weer toepasbaar en hierdoor iets minder circulair.

Aandachtspunten bij het opbreken zijn vermenging met andere materialen, zoals zand of asfalt, waardoor het menggranulaat wordt verontreinigd of een deel van zijn eigenschappen verliest.

2.3.4 Waarde in DuboCalc

Betongranulaat heeft een MKI-waarde van 1,02 uitgaande van een dichtheid van 2.100 m^3 in verdichte toestand.

2.3.5 Kwaliteitsborging

Van belang is om betongranulaat met een Komo-certificaat en CE-markering te verkrijgen. Tevens wordt aanbevolen om de verdichtingsgraad (eisen: oppervlakte $< 3.000 \text{ m}^2$: per monster ten minste 98%, oppervlakte $> 3.000 \text{ m}^2$: per monster ten minste 97% met een gemiddelde van ten minste 101%) te controleren.

3 Menggranulaat

3.1 Algemeen

Menggranulaat is een mengsel van beton- en metselpuin en wordt standaard als funderingsmateriaal in wegconstructies toegepast. De samenstelling van menggranulaat en de eisen waaraan het materiaal moet voldoen zijn opgenomen in de Standaard RAW Bepalingen 2015 artikel 80.16.05.



Menggranulaat 0/31,5 (fijne fractie niet zichtbaar)

Standaard wordt de gradering 0/31,5 toegepast, maar er is ook een gradering van 0/16 te verkrijgen. Voor waterdoorlatende constructies wordt de fijne fractie verwijderd waardoor een gradering van 4/31,5 resteert.

Menggranulaat is verkrijgbaar op veel locaties in Limburg waar het wordt geproduceerd door stationaire puinbrekers. Het is ook mogelijk dat menggranulaat op een slooplocatie wordt geproduceerd door een mobiele breekinstallatie.

3.2 Civieltechnisch

Het mengsel bestaat uit ten minste 50 procent gebroken grind- en steenslagbeton en voor ten hoogste 10 procent overige gebroken steen en steenachtig materiaal. Het materiaal wordt geclassificeerd als zelfbindend.

3.2.1 Draagkracht

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste materiaaleigenschappen van de draagkracht weergegeven. Een fundering van menggranulaat in een laagdikte van 250 mm heeft op basis van deze eigenschappen een goede draagkracht.

Materiaaleigenschap	Bepalingen
Dichtheid – verdichting in werk	1.700 kg/m ³ - 1.900 kg/m ³ 98% - 103% van maximum proctordichtheid
Stijfheid	
• CBR onmiddellijk	≥50%
• Toename in CBR naar 28 dagen	≥125%
• Oppervlaktemodulus	80 MPa – 100 MPa
• Ontwerp Stijfheidsmodulus	400 MPa
• Stijfheidsmodulus (26 weken)	200 MPa – 1100 MPa
Haakweerstand	
• Cohesie	40 – 120 na aanleg
• Hoek van inwendige wrijving	39 - 46 na aanleg
Druksterkte	NVT
Treksterkte en breukrek	NVT
Vermoeingssterkte	NVT
Weerstand teen permanente vervorming	Afhankelijk van korrelverdeling en verdichting

3.2.2 Verwerkbaarheid

Menggranulaat wordt geleverd door een stationaire puinbreker of vanuit een plaatselijk depot na productie door een mobiele breker. Bij de aanleg van een menggranulaatfundering is het van belang om de homogeniteit ten aanzien van de korrelverdeling te bewaken. Bij het laden, transport en levering en de verwerking kan door onzorgvuldigheid een zodanige ontmenging optreden dat plaatselijk geen goede verdichting wordt gerealiseerd.

3.2.3 Levensduur

Levensduur wordt bepaald door de ontwerp levensduur. Voor menggranulaat zijn er voor zover bekend geen beperkingen.

3.2.4 Hergebruik

Menggranulaat kan weer opnieuw als menggranulaat worden toegepast. Eventuele binding is relatief gemakkelijk te breken. Wel dient er aandacht te zijn voor eventuele opgedane verontreinigingen in de gebruiksfase.

3.2.5 Toepassingsaspecten

Net als bij betongranulaat is bij menggranulaat een homogeen mengsel nodig, zodat ontmenging wordt voorkomen. Tevens is voldoende vocht een voorwaarde voor een optimale fundering. Hiernaast is het van belang om stofvorming te voorkomen en het realiseren van een optimale verdichting. Omdat menggranulaat wordt geproduceerd uit verschillende bouw- en sloopafval stromen is het mogelijk de verontreinigingen zoals hout, asfalt of kunststoffen aanwezig zijn. Ook het aandeel fijn in het materiaal is een punt van aandacht.

3.3 **Milieuhygiënisch**

3.3.1 Kwaliteitsgarantie

Menggranulaat wordt geproduceerd onder de 'Nationale Beoordelingsrichtlijn voor Recyclinggranulaten', 2506-2. Op basis van deze BRL wordt het productcertificaat door de leverancier afgegeven. Met dit certificaat wordt aangetoond dat het materiaal voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit en dat het vrij in een civiel werk mag worden toegepast.

3.3.2 Kritische stoffen

Kritische stoffen in menggranulaat zijn PAK, minerale olie, asbest en de uitloging aan sulfaat. PAK en minerale olie houden verband met de mogelijke aanwezigheid van (teer)houdend asfalt in menggranulaat waarvan ten hoogste 5% [m/m] in mag zitten. Aanwezigheid van asbest in menggranulaat wordt veroorzaakt doordat dit materiaal soms in de aanvoer zit bij puinbrekers. Om deze reden is in BRL 2506 een asbestmodule opgenomen waardoor de hoeveelheid aan asbest in menggranulaat zeer sterk wordt beperkt. Ondanks deze module kan het voorkomen dat asbest in menggranulaat wordt aangetroffen, maar zal het gehalte ver onder de grenswaarde van 100 mg/kg liggen. De uitloging aan sulfaat hangt samen met de aanwezigheid van gipshoudende materialen in menggranulaat waarvan 1% in mag zitten. De maximale uitloogwaarde voor menggranulaat is 2.430 mg/kg zoals aangegeven in de Regeling bodemkwaliteit.

3.3.3 Mate van circulariteit

Menggranulaat bestaat uit gebroken materialen afkomstig uit bouw- en sloopafval. Omdat van afval weer een bouwstof wordt gemaakt dat toepasbaar is in wegfunderingen, is menggranulaat circulair.

Indien een wegconstructie van menggranulaat bij een reconstructie wordt opgebroken kan het materiaal in principe weer opnieuw worden toegepast als funderingsmateriaal. Aandachtspunten bij het opbreken zijn vermenging met andere materialen zoals zand of asfalt waardoor het menggranulaat wordt verontreinigd of een deel van zijn eigenschappen vermindert. Omdat menggranulaat in een tweede leven toepasbaar is zonder aanvullende bewerkingen of toevoegingen is het materiaal circulair.

3.3.4 Waarde in DuboCalc

Menggranulaat heeft een MKI-waarde van 0,50 uitgaande van een dichtheid van 1.850 m³ in verdichte toestand.

3.3.5 Kwaliteitsborging

Van belang is om menggranulaat met een Komo-certificaat en CE-markering te verkrijgen. Tevens wordt aanbevolen om de verdichtingsgraad (eisen: oppervlakte < 3.000 m²: per monster ten minste 98%, oppervlakte > 3.000 m²: per monster ten minste 97% met een gemiddelde van ten minste 101%) te controleren.

4 Hydraulisch menggranulaat algemeen

4.1 Algemeen

Hydraulisch menggranulaat is menggranulaat waaraan hydraulische slak (stabilisator) is toegevoegd in een percentage tussen 5 en 20% [m/m]. In de praktijk blijkt een mengsel van LD-staalslak met gegranuleerde hoogovenslak (LD-mix 0/8) zeer goede resultaten op te leveren. Om deze reden is een apart hoofdstuk voor dit materiaal opgenomen.



Hydraulisch menggranulaat 0/31,5 (fijne fractie w.o. stabilisator niet zichtbaar)

De samenstelling van hydraulisch menggranulaat en de eisen waaraan het materiaal moet voldoen zijn opgenomen in de Standaard RAW Bepalingen 2015 artikel 80.16.07.

Aandachtspunten bij de productie van hydraulisch menggranulaat is het mengproces van de hydraulische slak door het menggranulaat. Door een homogene menging van de twee materialen wordt een beter product verkregen. Hiernaast komt het voor dat er hydraulisch menggranulaat wordt geproduceerd met alleen LD-slak of ander soortige slak of dat maar een beperkt aandeel hydraulische slak is toegevoegd. Hierdoor zal de hydraulische werking beperkt zijn.

Hydraulisch menggranulaat is in Limburg leverbaar bij een aantal leveranciers.

Opmerking:

LD-staalslak staat voor slak afkomstig uit de staalbereiding volgens het Linz-Donawitz-proces.

ELO-slak is afkomstig uit de staalbereiding door middel van het elektrostaalprocedé

4.2 Civieltechnisch

Het mengsel bestaande uit menggranulaat en hydraulische slakmateriaal (gegranuleerde hoogovenslak, LD-staalslak, ELO-staalslak) in een gehalte van 5 tot 20 procent. Het materiaal wordt geclassificeerd als zelfbindend.

4.2.1 Draagkracht

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste materiaaleigenschappen van de draagkracht weergegeven. Een fundering van hydraulisch menggranulaat in een laagdikte van 250 mm heeft op basis van deze eigenschappen een zeer hoge draagkracht.

Materiaaleigenschap	Bepalingen
Dichtheid – verdichting in werk	1.700 kg/m ³ - 1.800 kg/m ³ 98% - 103% van maximum proctordichtheid
Stijfheid	
• CBR onmiddellijk	≥50%
• Toename in CBR naar 28 dagen	≥150%
• Oppervlaktemodulus	80 MPa – 100 MPa
• Ontwerp Stijfheidsmodulus	600 MPa
• Stijfheidsmodulus (26 weken)	200 MPa – 1600 MPa
Haakweerstand	
• Cohesie kPa	100 – 200 na aanleg
• Hoek van inwendige wrijving	40 - 50 na aanleg
Druksterkte	0.5 MPa
Treksterkte en breukrek	50-80

4.2.2 Verwerkbaarheid

Hydraulisch menggranulaat wordt geleverd door een stationaire puinbreker. Het wordt afgeraden om hydraulisch menggranulaat vanuit depot of een mobiele breker af te nemen, omdat een homogene menging van de slak met het granulaat in een dergelijke situatie lastiger te realiseren is. Optimaal is als de slak vers is toegevoegd bij een homogene menging. Het beste granulaat wordt geproduceerd met een slak met een hoog gehalte gegranuleerde slak.

4.2.3 Levensduur

Levensduur wordt bepaald door de ontwerplevensduur. Voor hydraulisch menggranulaat zijn er voor zover bekend geen beperkingen.

4.2.4 Hergebruik

Hydraulisch menggranulaat kan weer opnieuw als menggranulaat worden toegepast nadat de binding is verbroken. Waarschijnlijk is hiervoor geen breker nodig, maar is dit te realiseren met minder zware machines. Ook is het mogelijk het materiaal in situ of in plant te bewerken met toevoeging van stabilisator of cement om opnieuw een hydraulische fundering te realiseren.

4.2.5 Toepassingsaspecten

Een goede verdichting van hydraulisch menggranulaat is belangrijk, omdat dit het hydraulische proces en daarmee het draagvermogen bevordert en eventuele uitloging vermindert. Voor de activering van de stabilisator is dit belangrijk om de juiste hoeveelheid vocht in het mengsel beschikbaar te hebben. Bij een te laag vochtgehalte zal de gewenste binding onvoldoende ontwikkelen.

4.3 Milieutechnisch

4.3.1 Kwaliteitsgarantie

Hydraulisch menggranulaat wordt geproduceerd onder de 'Nationale Beoordelingsrichtlijn voor Recyclinggranulaten', 2506-2. Op basis van deze BRL wordt het productcertificaat door de leverancier afgegeven. Met dit certificaat wordt aangetoond dat het materiaal voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit en dat het vrij in een civiel werk mag worden toegepast.

4.3.2 Kritische stoffen

De kritische stoffen van hydraulisch menggranulaat zijn dezelfde als van menggranulaat. Hiernaast bevat hydraulisch menggranulaat een iets hoger gehalte aan zware metalen dan menggranulaat, vanwege het aandeel hydraulische slak. De uitloging van deze stoffen blijft echter (ruim) binnen de eisen van het Besluit bodemkwaliteit.

4.3.3 Mate van circulariteit

Hydraulisch menggranulaat bestaat uit gebroken materiaal afkomstig van bouw- en sloopafval. LD-slak en gegranuleerde hoogovenslak zijn afkomstig uit de afvalstroom van de staal- en ijzerbereiding. Omdat van afval weer een hoogwaardig funderingsmateriaal wordt gemaakt, dat toepasbaar is in wegfunderingen, is hydraulisch menggranulaat circulair.

Indien een wegconstructie met een fundering van hydraulisch menggranulaat bij een reconstructie wordt opgebroken, kan het materiaal in principe weer opnieuw worden toegepast als funderingsmateriaal. Omdat de fundering licht gebonden zal zijn door de hydraulische werking, is het waarschijnlijk noodzakelijk om het materiaal te breken. Na een bewerking, en mogelijk het toevoegen van opnieuw een aandeel stabilisator, is het granulaat weer toepasbaar als hoogwaardig funderingsmateriaal.

Aandachtspunten bij het opbreken zijn vermenging met andere materialen, zoals zand of asfalt, waardoor het hydraulisch menggranulaat wordt verontreinigd of een deel van zijn eigenschappen verliest.

4.3.4 DuboCalc

Hydraulisch menggranulaat heeft een MKI-waarde van 0,49 uitgaande van een dichtheid van 1.850 m³ in verdichte toestand.

4.3.5 Kwaliteitsborging

Van belang is om hydraulisch menggranulaat met een Komo-certificaat en CE-markering te verkrijgen. De aanwezigheid van de stabilisator en het percentage kan (indicatief) worden vastgesteld met de magneetproef. Een artikel waarin de magneetproef is beschreven is opgenomen in bijlage 3. Bij toepassing van de magneetproef worden van de toegepaste stabilisator en het aangevoerde hydraulische menggranulaat monsters genomen. In het laboratorium is vervolgens goed vast te stellen of stabilisator aanwezig is alsmede ook het aanwezige percentage stabilisator binnen een bandbreedte van 2 tot 3%

Tevens wordt aanbevolen om de verdichtingsgraad (eisen: oppervlakte < 3.000 m²: per monster ten minste 98%, oppervlakte > 3.000 m²: per monster ten minste 97% met een gemiddelde van ten minste 101%) te controleren, alsmede de korrelverdeling, samenstelling en laagdikte.

5 Hydraulisch menggranulaat met LD-mix

5.1 Algemeen

Hydraulisch menggranulaat met LD-mix is menggranulaat waaraan LD-mix (stabilisator) is toegevoegd in een percentage tussen 5 en 20% [m/m]. Geadviseerd wordt om een percentage van 12,5% [m/m] aan te houden.



Hydraulisch menggranulaat 0/31,5 met LD-mix (fijne fractie niet zichtbaar)

De producent van LD-mix streeft er naar dat een fundering met hydraulisch menggranulaat met LD-mix eenzelfde draagkracht oplevert als een fundering met betongranulaat. Medio 2019 wordt nog gewerkt aan aanvullende kwaliteitseisen van de stabilisator LD-mix omdat de CBR-proef onvoldoende onderscheidend vermogen oplevert.

Overwogen kan worden om in bestekken of contracten de naam van LD-mix als stabilisator op te nemen of de volgende technische specificaties: stabilisator bestaande uit 25% gegranuleerde hoogovenslak en 75% LD-mix met minimaal 5% volumezwel. De volumezwel is noodzakelijk om in de wegconstructie de juiste bindingseigenschappen te verkrijgen. Door middel van kwaliteitscontrole door de leverancier worden de slakken met meer dan 5% volumezwel geselecteerd.

De samenstelling van hydraulisch menggranulaat LD-mix en de eisen waaraan het materiaal moet voldoen zijn opgenomen in de Standaard RAW Bepalingen 2015 artikel 80.16.07.

Aandachtspunten bij de productie van hydraulisch menggranulaat is het mengproces van de hydraulische slak door het menggranulaat. Door een homogene menging van de twee materialen wordt een beter product verkregen.

Aanbevolen wordt om alleen hydraulisch menggranulaat af te nemen indien het is gemengd met een doseerband (dus niet met behulp van een laadschop).

Hydraulisch menggranulaat is in Limburg leverbaar bij een aantal leveranciers.

5.2 Civieltechnisch

Het mengsel bestaande uit menggranulaat en LD-mix (0/8) (25 % gegranuleerde hoogovenslak (slakkenzand) + 75% LD-staalslak. De staalslak moet een volumebestendigheid hebben van minimaal 5% volumezweel.

Opmerking:

De volumezweel wordt veroorzaakt door de hydratatie van vrije kalk in staalslak. In hoogovenslakkenmengsels is dit ongewenst vanwege schade aan de bovenliggende asfaltconstructie. In een stabilisator met een fijne gradering van 0/8 is dit juist de gewenste eigenschap om een goede hydraulische fundering te verkrijgen.

5.2.1 Draagkracht

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste materiaaleigenschappen van de draagkracht weergegeven. Een fundering van hydraulisch menggranulaat in een laagdikte van 250 mm heeft op basis van deze eigenschappen een zeer hoge draagkracht.

Materiaaleigenschap *	Bepalingen
Dichtheid – verdichting in werk	1.700 kg/m ³ - 1.800 kg/m ³ 98% - 103% van maximum proctordichtheid
Stijfheid	
• CBR onmiddellijk	≥50%
• Toename in CBR naar 28 dagen	≥150%
• Oppervlaktemodulus	80 MPa – 100 MPa
• Ontwerp Stijfheidsmodulus	600 MPa
• Stijfheidsmodulus (26 weken)	200 MPa – 1600 MPa
Haakweerstand	
• Cohesie kPa	100 – 200 na aanleg
• Hoek van inwendige wrijving	40 - 50 na aanleg
Druksterkte	0.5 MPa
Treksterkte en breukrek	50-80

* overeenkomstig hydraulisch menggranulaat algemeen

5.2.2 Verwerkbaarheid

Hydraulisch menggranulaat wordt geleverd door een stationaire puinbreker. Het wordt afgeraden om hydraulisch menggranulaat vanuit depot of een mobiele breker af te nemen, omdat een homogene menging van de slak met het granulaat in een dergelijke situatie lastiger te realiseren is vanwege het ontbreken van een doseerband. Optimaal is als de slak vers is toegevoegd bij een homogene menging. Er zijn geen aanwijzingen dat ontmenging op kan treden.

5.2.3 Levensduur

Levensduur wordt bepaald door de ontwerp levensduur. Voor hydraulisch menggranulaat met LD-mix zijn er voor zover bekend geen beperkingen.

5.2.4 Hergebruik

Hydraulisch menggranulaat met LD-mix kan weer opnieuw als menggranulaat worden toegepast nadat de binding is verbroken. Waarschijnlijk is hiervoor geen breker nodig, maar is dit te realiseren met minder zware machines. Ook is het mogelijk het materiaal in situ of in plant te bewerken met toevoeging van stabilisator of cement om opnieuw een hydraulische fundering te realiseren.

5.2.5 Toepassingsaspecten

Een goede verdichting van hydraulisch menggranulaat met LD-mix is belangrijk, omdat dit het hydraulische proces en daarmee het draagvermogen bevordert en eventuele uitloging vermindert. Voor de activering van de stabilisator is dit belangrijk om de juiste hoeveelheid vocht in het mengsel beschikbaar te hebben.

5.3 **Milieutechnisch**

5.3.1 Kwaliteitsgarantie

Hydraulisch menggranulaat met LD-mix wordt geproduceerd onder de 'Nationale Beoordelingsrichtlijn voor Recyclinggranulaten', 2506-2. Op basis van deze BRL wordt het productcertificaat door de leverancier afgegeven. Met dit certificaat wordt aangetoond dat het materiaal voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit en dat het vrij in een civiel werk mag worden toegepast.

5.3.2 Kritische stoffen

De kritische stoffen van hydraulisch menggranulaat zijn dezelfde als van menggranulaat. Hiernaast bevat hydraulisch menggranulaat een iets hoger gehalte aan zware metalen dan menggranulaat, vanwege het aandeel hydraulische slak. De uitloging van deze stoffen blijft echter (ruim) binnen de eisen van het Besluit bodemkwaliteit.

5.3.3 Mate van circulariteit

Hydraulisch menggranulaat met LD-mix bestaat uit gebroken materiaal afkomstig van bouw- en sloopafval. LD-slak en gegranuleerde hoogovenslak zijn afkomstig uit de afvalstroom van de staal- en ijzerbereiding. Omdat van afval weer een hoogwaardig funderingsmateriaal wordt gemaakt dat toepasbaar is in wegfunderingen is hydraulisch menggranulaat met LD-mix circulair.

Indien een wegconstructie met een fundering van hydraulisch menggranulaat bij een reconstructie wordt opgebroken, kan het materiaal in principe weer opnieuw worden toegepast als funderingsmateriaal. Omdat de fundering licht gebonden zal zijn door de hydraulische werking, is het waarschijnlijk noodzakelijk om het materiaal te breken. Na een bewerking, en mogelijk het toevoegen van opnieuw een aandeel stabilisator, is het granulaat weer toepasbaar als hoogwaardig funderingsmateriaal.

Aandachtspunten bij het opbreken zijn vermenging met andere materialen, zoals zand of asfalt, waardoor het hydraulisch menggranulaat wordt verontreinigd of een deel van zijn eigenschappen verliest.

5.3.4 Waarde in DuboCalc

Hydraulisch menggranulaat met LD-mix heeft een MKI-waarde van 0,49 uitgaande van een dichtheid van 1850 m³ in verdichte toestand.

5.3.5 Kwaliteitsborging

Van belang is om hydraulisch menggranulaat met LD-mix te verkrijgen dat ook zodanig is geproduceerd. Dit is mogelijk dat het opvragen van recente leveringsbonnen en het Komo-certificaat en de CE-markering van LD-mix. De aanwezigheid van de stabilisator en het percentage (indicatief) kan worden vastgesteld met de magneetproef. Tevens wordt aanbevolen om de verdichtingsgraad (eisen: oppervlakte < 3.000 m²: per monster ten minste 98%, oppervlakte > 3.000 m²: per monster ten minste 97% met een gemiddelde van ten minste 101%) te controleren.

6 Hoogovenslakkenmengsel

6.1 Algemeen

Hoogovenslakkenmengsel is een mengsel van gebroken hoogovenslak en een aandeel LD-staalslak met gegranuleerde hoogovenslak. De samenstelling van hoogovenslakkenmengsel en de eisen waaraan het materiaal moet voldoen, zijn opgenomen in de Standaard RAW Bepalingen 2015 artikel 80.16.08



Verwerking van hoogovenslakkenfundering

Standaard wordt een gradering 0/45 toegepast. Het materiaal functioneert als een zelfbindende fundering waarbij de binding, sterkte en draagkracht steeds meer toenemen. De sterkte kan in de loop van de tijd zo groot worden dat bij het uitzetten van het materiaal spontaan vervorming optreedt, het zogenoemde 'spatten'. Deze vervorming veroorzaakt schade en onvlakheid in het bovenliggende asfalt.

Bij de productie wordt scherp gelet op het aandeel en de maat van de toegevoegde staalslak. De maximale korrelgrootte is 22,4 mm. Bij grotere slakken is het risico op zogenoemde kalkpitten te groot. Kalkpitten in staalslak kunnen onder invloed van water leiden tot vergruizing van de fundering of zogenoemde bloemkolen in een bovenliggende asfaltverharding.

Door het mogelijke spatten van de fundering worden funderingen van hoogovenslakmengsel nog maar sporadisch in Nederland toegepast. Indien dit materiaal wordt toegepast komt het mengsel uit Duitsland.

6.2 Civieltechnisch

Hoogovenslakkenmengsel is een zelfbindende steenfunderingsmateriaal van gebroken hoogovenstukslak en gegranuleerde hoogovenslak waarvan vaak ook nog een substantieel percentage (tot ten hoogste 25 procent) staalslakken (meestal LD-staalslakken) wordt toegevoegd.

6.2.1 Draagkracht.

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste materiaaleigenschappen voor de draagkracht weergegeven. Een fundering van hoogovenslakkenmengsel in een laagdikte van 250 mm heeft op basis van deze eigenschappen een hoge draagkracht die in de loop der jaren toeneemt tot zeer hoog met spatten tot gevolg.

Materiaaleigenschap	Bepalingen
Dichtheid – verdichting in werk	1.750 kg/m ³ - 2.050 kg/m ³ 98% - 103% van maximum proctordichtheid
Stijfheid	
• CBR onmiddellijk	50% - 130%
• Toename in CBR naar 28 dagen	50% - 235%
• Oppervlaktemodulus	80 MPa – 100 MPa
• Ontwerp Stijfheidsmodulus	1000 MPa
• Stijfheidsmodulus (26 weken)	200 MPa – 5000 MPa
Haakweerstand	
• Cohesie	-
• Hoek van inwendige wrijving	-
Druksterkte	1 MPa
Breukrek $\mu\text{m/m}$	400

6.2.2 Verwerkbaarheid

Om ontmenging te voorkomen dient hoogovenslakkenmengsel zorgvuldig te worden verwerkt met aandacht voor het vochtgehalte en de aanwezigheid van de grove staalslakken.

6.2.3 Levensduur

Levensduur wordt bepaald door de ontwerp levensduur. Hoogovenslakken hebben regelmatig een kortere levensduur omdat de constructie plaatselijk beschadigt als gevolg van spatten.

6.2.4 Hergebruik

Hoogovenslakken kunnen weer opnieuw als fundering worden toegepast nadat de binding is verbroken. Het is mogelijk dat in de loop der jaren weer opnieuw een te sterke fundering ontstaat met spatten tot gevolg. Een mogelijke oplossing hiervoor is het toevoegen van asfaltgranulaat.

6.2.5 Toepassingsaspecten

Een goede verdichting van hoogovenslakkenmengsel is belangrijk, omdat dit het hydraulische proces en daarmee het draagvermogen bevordert. Voor de activering van de stabilisator is het van groot belang om de juiste hoeveelheid vocht in de mengsel beschikbaar te hebben.

Een punt van aandacht is het eventuele contact met oppervlaktewater. Dit moet worden voorkomen omdat de slakken de zuurgraad van het water kan beïnvloeden. Dit geldt trouwens ook van uitloogwater uit de slakken.

6.3 **Milieuhygiënisch**

6.3.1 Kwaliteitsgarantie

Hoogovenslakkenmengsel wordt geproduceerd onder de 'Nationale Beoordelingsrichtlijn, slakken en slakmengsels voor toepassing in GWW-werken' BRL 9345. In de beoordelingsrichtlijn is het mogelijk om het slakkenmengsel te onderzoeken als NV-bouwstof of als V-bouwstof. Indien voor V-bouwstof wordt gekozen moet wel aan de eisen voor vormvastheid worden voldaan. Op basis van BRL 9345 wordt het productcertificaat door de leverancier afgegeven. Met dit certificaat wordt aangetoond dat het materiaal voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit.

6.3.2 Kritische stoffen

Kritische stoffen in hoogovenslakkenmengsel zijn de uitloging aan vanadium en sulfaat. Dit speelt geen rol bij de eerste toepassing, maar mogelijk wel bij een hertoepassing bij een wegreconstructie.

6.3.3 Mate van circulariteit

Hoogovenslakkenmengsel bestaat uit verschillende slakachtige afvalstoffen afkomstig uit de staal- en ijzerbereiding. De meest hoogwaardige toepassing van hoogovenslak en gegraneerde hoogovenslak is toepassing in hoogovencement. Vandaar dat er praktisch geen Nederlands hoogovenslakkenmengsel op de markt komt. Toepassing in een wegfundering is dus een minder hoogwaardige toepassing en om deze reden minder circulair.

Indien een wegconstructie met een fundering van hoogovenslak bij een reconstructie wordt opgebroken zijn de slakken sterk gebonden. Hierdoor is het noodzakelijk om bij hertoepassing het materiaal te breken waaruit volgt dat de uitloging aan stoffen conform het Besluit bodemkwaliteit moet worden bepaald.

Hierbij blijkt het regelmatig voor te komen dat de slakken op basis van toetsing op uitloogbare stoffen als IBC-bouwstof wordt gekwalificeerd. Dit wordt met name door vanadium en sulfaat veroorzaakt. Of dit ook geldt voor de hoogovenslakkenmengsels die anno 2018 worden toegepast is niet duidelijk. Omdat het materiaal voor toepassing in zijn 2^e leven moet worden gebroken en het regelmatig blijkt dat het materiaal dan milieuhygiënisch niet voldoet, is het materiaal minder circulair.

6.3.4 Waarde in DuboCalc

Hoogovenslak heeft een MKI-waarde van 0,42 uitgaande van het aanbrengen van een hoogovenslakfundering.

6.3.5 Kwaliteitsborging

Van belang is om hoogovenslakkenmengsel met een Komo-certificaat en CE-markering te verkrijgen. Hiernaast wordt aanbevolen de verdichtingsgraad te controleren alsmede de korrelverdeling, samenstelling en laagdikte.

7 Fosforlakmengsel

7.1 Algemeen

Fosforlakmengsel is een mengsel van gebroken fosforlak en een aandeel gegranuleerde hoogovenslakken soms aangevuld met een klein aandeel LD-staalslak. De samenstelling van fosforlakmengsel en de eisen waaraan het materiaal moet voldoen, zijn opgenomen in de Standaard RAW Bepalingen 2015 artikel 80.16.09



Fosforlakmengsel in depot

Standaard wordt een gradering 0/45 toegepast. Het materiaal functioneert als een zelfbindende fundering door de gegranuleerde hoogovenslak in het mengsel. Het spatten komt, voor zover bekend, niet voor bij een fundering van fosforlakken.

Fosforlakmengsel wordt geproduceerd in Zeeland in de omgeving van de voormalige fosforfabriek. Na het sluiten van de fabriek een aantal jaren geleden, resteerde een hoeveelheid fosforlakken die in de wegenbouw wordt afgezet als funderingsmateriaal. Naar verwachting stopt de toepassing aan fosforlakmengsel hierdoor omstreeks 2021.

7.2 Civieltechnisch

Fosforlakmengsel is een zelfbindende steenfunderingsmateriaal van gebroken fosforlak, en een hydraulische bindmiddel van gegranuleerde hoogovenslak of eventueel LD-staalslak in het mengsel dat hoogste 25 procent mag zijn.

7.2.1 Draagkracht.

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste materiaaleigenschappen voor de draagkracht weergegeven. Een fundering van fosforlakken in een laagdikte van 250 mm heeft op basis van deze eigenschappen een zeer hoge draagkracht.

Materiaaleigenschap	Bepalingen
Dichtheid – verdichting in werk	2.000 kg/m ³ 98% - 103% van maximum proctordichtheid
Stijfheid	
• CBR onmiddellijk	65% - 130%
• Toename in CBR naar 28 dagen	35% - 150%
• Oppervlaktemodulus	-
• Ontwerp Stijfheidsmodulus	1000 MPa
• Stijfheidsmodulus (26 weken)	1000 MPa – 5000 MPa
Haakweerstand	
• Cohesie	-
• Hoek van inwendige wrijving	60
Druksterkte	1 MPa
Breukrek $\mu\text{m/m}$	400

7.2.2 Verwerkbaarheid

Om ontmenging te voorkomen dient fosforslakmengsel zorgvuldig te worden verwerkt.

7.2.3 Levensduur

Levensduur wordt bepaald door de ontwerplevensduur. Voor fosforslakken zijn er geen beperkingen bekend.

7.2.4 Hergebruik

Fosforslakken kunnen weer opnieuw als fundering worden toegepast nadat de binding is verbroken. Het fosforslakmengsel kan in situ of in plant worden bewerkt waarbij een stabilisator of cement wordt gevoegd om opnieuw een hydraulische fundering te verkrijgen.

7.2.5 Toepassingsaspecten

Een goede verdichting van fosforslakken is belangrijk, omdat dit het hydraulische proces en daarmee het draagvermogen bevordert. Voor de activering van de stabilisator is het van groot belang om de juiste hoeveelheid vocht in de mengsel beschikbaar te hebben.

7.3 **Milieuhygiënisch**

7.3.1 Kwaliteitsgarantie

Fosforslakmengsel wordt geproduceerd onder de 'Nationale Beoordelingsrichtlijn, slakken en slakmengsels voor toepassing in GWW-werken' BRL 9345. In de beoordelingsrichtlijn is het mogelijk om het slakkenmengsel te onderzoeken als NV-bouwstof of als V-bouwstof. Indien voor V-bouwstof wordt gekozen moet wel aan de eisen voor vormvastheid worden voldaan. Op basis van BRL 9345 wordt het productcertificaat door de leverancier afgegeven. Met dit certificaat wordt aangetoond dat het materiaal voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit.

7.3.2 Kritische stoffen

Voor zover bekend zijn er geen kritische stoffen in fosforslakmengsel.

7.3.3 Mate van circulariteit

Fosforslakmengsel bestaat uit verschillende slakachtige afvalstoffen afkomstig uit de fosfor- en ijzerbereiding. Omdat van een afvalstof een bouwstof wordt gemaakt die toepasbaar is in wegfunderingen, is fosforslakmengsel circulair.

Indien een wegconstructie met een fundering van fosforslak bij een reconstructie wordt opgebroken zijn de slakken (sterk) gebonden. Hierdoor is het noodzakelijk om bij her-toepassing het materiaal te breken waaruit volgt dat de uitloging aan stoffen conform het Besluit bodemkwaliteit moet worden bepaald. Voor zover bekend voldoen de slakken ook in hun 2^e leven aan het Besluit bodemkwaliteit. Omdat de slakken voor hertoepassing moeten worden gebroken maar, voor zover bekend, voldoen aan het Besluit bodemkwaliteit, wordt het materiaal op basis van het 2^e leven als voldoende circulair beoordeeld.

7.3.4 Waarde in DuboCalc

Fosforslakken heeft een MKI-waarde van 0,42 uitgaande van het aanbrengen van een fosforslakfundering.

7.3.5 Kwaliteitsborging

Van belang is om fosforslak met een Komo-certificaat en CE-markering te verkrijgen. Hiernaast wordt aanbevolen de verdichtingsgraad te controleren alsmede de korrelverdeling, samenstelling en laagdikte.

8 Zandcement

8.1 Algemeen

Zandcement is een mengsel van zand, water en cement. Het benodigde percentage cement en water wordt bepaald door de korrelverdeling van het zand. De samenstelling van zandcement en de eisen waaraan het materiaal moet voldoen, zijn opgenomen in de Standaard RAW Bepalingen 2015 artikel 80.22.05

Zandcement is in het verleden veel toegepast als fundering van relatief zwaarbelaste wegen, maar is met de opkomst van de steenfunderingen verdrongen. Hierbij speelde ook het voorkomen van 'spatten' als een fundering te sterk was geworden.

8.2 Civieltechnisch

Zandcement is een homogeen mengsel van zand, water en cement dat bij aanleg tot een hoge dichtheid wordt verdicht.

8.2.1 Draagkracht

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste materiaaleigenschappen voor de draagkracht weergegeven. Een fundering van zandcement in een laagdikte van 250 mm heeft op basis van deze eigenschappen een zeer hoge draagkracht.

Materiaaleigenschap	Bepalingen
Dichtheid – verdichting in werk	2.000 kg/m ³ - 2.150 kg/m ³ 95% - 102% van maximum proctordichtheid
Stijfheid	
• CBR onmiddellijk	n.v.t
• Toename in CBR naar 28 dagen	n.v.t
• Oppervlaktemodulus	-
• Ontwerp Stijfheidsmodulus	5000 MPa
• Stijfheidsmodulus (26 weken)	3000 MPa – 9000 MPa
Haakweerstand	
• Cohesie	0
• Hoek van inwendige wrijving	30 - 35
Druksterkte na 28 dagen	≥ 5 MPa
Breukrek $\mu\text{m}/\text{m}$	125

8.2.2 Verwerkbaarheid

De bereiding en verwerking kan zowel 'mixed in place' als 'mixed in plant' plaatsvinden. Bij de 'mixed in place'-methode wordt op de locatie het te stabiliseren zand geëgaliseerd. Op het zand wordt de benodigde hoeveelheid cement uitgestrooid, waarna dit eventueel onder toevoeging van water door het zand wordt gemengd. Na het mengen wordt het zandcement verdicht. Bij de 'mixed in plant'-methode worden zand, cement en water in een menginstallatie gemengd, waarna het mengsel naar de locatie wordt getransporteerd waar het mengsel wordt uitgereden en verdicht.

8.2.3 Levensduur

Levensduur wordt bepaald door de ontwerplevensduur. Van zandcement is bekend dat er constructies zijn die dit niet hebben gehaald door optreden van reflectiescheuren. Daarnaast zijn er ook constructies die de ontwerplevensduur ruim hebben gehaald.

8.2.4 Hergebruik

Het is mogelijk om zandcement te hergebruiken als gebonden fundering. Zandcement kan in situ of in plant worden bewerkt door toevoeging van cement waarbij een nieuwe zandcementfundering wordt gerealiseerd. Na het breken van zandcement ontstaat een soort zand dat niet zelfstandig kan functioneren als een funderingsmateriaal. Wel is het geschikt als ophoogmateriaal.

8.2.5 Toepassingsaspecten

Het materiaal dient te worden beschermd tegen uitdroging door het nemen van beschermende maatregelen, af te dekken of te asfalteren. Asfalteren binnen 24 uur heeft hierbij de voorkeur als de cementbinding nog niet is opgetreden.

Om scheurdoorslag te voorkomen wordt aanbevolen om bij categorie vrachtwagen-intensiteit A ($VA \leq 50$) een asfaltdekking van minimaal 120 mm aan te brengen. Bij verkeersklassen B, C en IB ($VA > 50$) wordt een minimale asfaltdekking van 140 mm aanbevolen.

Bij situaties waarin de druksterkte en stijfheid hoog worden, kunnen door temperatuur veroorzaakte spanningen erg hoog oplopen, waardoor een gerede kans op spatten aanwezig is.

8.3 **Milieuhygiënisch**

8.3.1 Kwaliteitsgarantie

Indien zandcement wordt toegepast, wordt het in situ geproduceerd door zand met cement en water te mengen en te verdichten. Er is geen certificaat of beoordeling richtlijn waar men voor de kwaliteitsgarantie op terug kan vallen. Om deze reden zal er per project een partijkeuring conform Besluit bodemkwaliteit (AP04-keuring) moeten worden uitgevoerd om aan te tonen dat het product 'zandcement' voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit. Indien uitgegaan wordt van zand met de kwaliteit 'achtergrondwaarde' en een gecertificeerde cementsoort is er geen reden om te veronderstellen dat dit product niet voldoet aan de regelgeving.

8.3.2 Kritische stoffen

Voor zover bekend zijn er geen kritische stoffen voor zandcement indien uitgegaan wordt van schone materialen. Bij het opbreken van zandcement is het wel eens voorgekomen dat de stof sulfaat in een verhoogd gehalte uitloogde.

8.3.3 Mate van circulariteit

Zandcement wordt vervaardigd van schoon primair zand en cement. Omdat primair zand wordt gebruikt is de toepassing niet circulair.

Indien zandcement wordt opgebroken is het noodzakelijk het materiaal vanwege de cementbinding te breken. Hierbij is gebleken dat opnieuw een zandachtig materiaal ontstaat dat geschikt is om opnieuw als zand voor zandcement te gebruiken. Omdat het zandcement voor hertoepassing moet worden gebroken maar, voor zover bekend, voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit wordt het materiaal op basis van het 2^e leven als voldoende circulair beoordeeld.

8.3.4 Waarde in DuboCalc

Een fundering van zandcement heeft een MKI-waarde van 9,89 uitgaande van stabilisatiezand en een standaard percentage cement.

8.3.5 Kwaliteitsborging

Van belang is om een goed vooronderzoek uit te voeren met het te gebruiken zand en cement. Tijdens de uitvoering is het van belang de mengkwaliteit te controleren alsmede de geproduceerde druksterkte door het boren van kernen op juiste tijdstippen. Ook de laagdikte is van belang. De details zijn beschreven in hoofdstuk 80.2 in de Standaard RAW Bepalingen 2015.

9 AEC-bodemas

9.1 Algemeen

AEC-bodemas staat voor bodemas afkomstig uit een afvalenergiecentrale. Dit is het product dat overblijft nadat huisvuil bij een bepaalde temperatuur is verbrand. Om het materiaal AEC-bodemas te mogen noemen en vrij toe te passen als bouwstof wordt het materiaal ontdaan van ferro- en non-ferrometalen en vermindering van uitloogbare stoffen.



AEC-bodemas vrij toepasbaar (foto Boskalis / Heros)

Tot 2019 was er alleen AEC-bodemas verkrijgbaar van IBC-kwaliteit als ophoogmateriaal. Anno 2019 komt er steeds mee AEC-bodemas beschikbaar dat zodanig is gereinigd dat het toepasbaar is als NV-bouwstof. Doordat men ook civieltechnisch een kwaliteitsverbetering nastreeft is het materiaal ook toepasbaar als wegfunderingsmateriaal. Dit laatste moet wel worden aangetoond voor toepassing!

De samenstelling van vrij toepasbaar AEC-bodemas en de eisen waaraan het materiaal moet voldoen zijn opgenomen in de BRL 2507 'AEC-bodemas als toeslagmateriaal voor beton'. Er is (nog) geen beoordelingsrichtlijn voor vrij toepasbaar AEC-bodemas als funderingsmateriaal.

Verschillende leveranciers zijn in staat om vrij toepasbare AEC-bodemas te leveren.

Leverancier	Locatie	Productnaam
Mineralz	Zevenbergen	Forz
Boskalis	Alkmaar	AEC-bodemas
Heros	Sluiskil	Hydromix of combimix
Rock Solid	Alkmaar	AEC-bodemas

Uit de inventarisatie blijkt dat er verschillende leveranciers zijn die AEC-bodemas kunnen leveren dat milieuhygiënisch voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit. De bedrijven promoten hun producten met name als toeslagmateriaal in betonwaren. Toepassingen als funderingsmateriaal zijn (nog) beperkt. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de minder hoogwaardige toepassing ten opzichte van toeslagmateriaal in beton.

De Vereniging Afvalbedrijven geeft aan dat er op korte termijn een overschot ontstaat aan schone AEC-bodemas. Het is onwaarschijnlijk dat al dit materiaal hoogwaardig wordt toegepast in beton als grindvervanger.

Een logische, minder hoogwaardige toepassing is om dit materiaal als wegfunderingsmateriaal te gaan toepassen als vervanger voor betongranulaat.

9.2 Civieltechnisch

AEC-bodemas bestaat uit niet-brandbare materialen en is het restproduct dat overblijft bij het verbranden van afval in een afval-energiecentrale. Het zogenoemde ruwe AEC-bodemas is een steenachtig materiaal, dat bestaat uit gesmolten en samengeklonterde verbrandingsproducten, zand, steen, glas, porselein en metalen, die zijn gemengd met de asresten van verbrande producten. Constructief wordt AEC-bodemas gelijkwaardig geacht aan zand, de stijfheid is beter dan die van zand.

9.2.1 Draagkracht

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste materiaaleigenschappen voor de draagkracht weergegeven. Een fundering van ongebonden AEC-bodemas in een laagdikte van 250 mm heeft op basis van deze eigenschappen een matige draagkracht. Om AEC-bodemas als funderingsmateriaal toe te kunnen passen is het noodzakelijk de draagkrachteigenschappen van het ongebonden materiaal te verbeteren.

Materiaaleigenschap	Bepalingen
Dichtheid – verdichting in werk	1.650 kg/m ³ - 1.850 kg/m ³ 93% - 98% van maximum proctordichtheid
Stijfheid	
• CBR onmiddellijk	30% - 40%
• Stijfheidsmodulus	100 - 250 MPa
Bindcapaciteit	NVT
Haakweerstand	
• Cohesie	40 - 130
• Hoek van inwendige wrijving	34-40
Druksterkte na 28 dagen	NVT
Treksterkte en breukrek	NVT

Verlies aan inwendige wrijving is mogelijk bij een te hoog vochtgehalte in samenhang met een knedende belasting, zoals bij het verdichten optreedt, met als gevolg verlies van draagvermogen en verpapping.

9.2.2 Verwerkbaarheid en toepassingseisen

Vanwege de geringe ervaring met schone AEC-bodemas is over de verwerkbaarheid en de toepassingseisen (nog) niet veel aan te geven.

9.2.3 Hergebruik en levensduur

Er mag vanuit worden gegaan dat het materiaal weer herbruikbaar is als funderingsmateriaal. Of dit kwaliteit en de daarmee samenhangende levensduur zijn afgenomen gedurende de gebruiksjaren is nog onbekend.

9.3 Milieuhygiënisch

9.3.1 Kwaliteitsgarantie

Toe te passen funderingsmateriaal van AEC-bodemas zal zijn gecertificeerd conform BRL 2507 of voorzien van een partijkeuring waaruit blijkt dat het materiaal voldoet aan de eisen voor een vrij toepasbare bouwstof overeenkomstig het Besluit bodemkwaliteit. Indien een van deze twee bewijzen aanwezig zijn is het verantwoord en toegestaan een fundering van AEC-bodemas te realiseren.

9.3.2 Kritische stoffen

Omdat AEC-bodemas afkomstig is uit een verbrandingsproces zijn organische kritische stoffen uitgesloten. Ook is bekend dat asbest niet of vrijwel niet in dit materiaal voorkomt. In het opwerkproces is de uitloging aan anorganische stoffen beperkt.

9.3.3 Mate van circulariteit

AEC-bodemas is afkomstig uit het verbrandingsproces van huisvuil. Omdat het materiaal van een afvalstof wordt opgewerkt tot een schone bouwstof, wordt het materiaal beoordeeld als circulair.

Uitgaande van een ongebonden fundering van AEC-bodemas is het mogelijk om het materiaal bij een reconstructie opnieuw als funderingsmateriaal toe te passen. Een onzekere factor is de eventuele afname van civieltechnische kwaliteit. Ondanks deze kleine onzekerheid wordt het materiaal beoordeeld als circulair.

9.3.4 Waarde in DuboCalc

Geen gegevens bekend.

9.3.5 Kwaliteitsborging

Omdat er nog geen of weinig wegconstructies zijn aangelegd met AEC als fundering is het raadzaam om bij de eerste projecten ruime kwaliteitsborging toe te passen. Hierbij worden dan veel eigenschappen beoordeeld zoals; samenstelling, korrelverdeling, vochtgehalte, verdichtingsgraad en dikte. Hiernaast is het raadzaam een en ander op foto vast te leggen. Te overwegen is om draagkrachtmetingen uit te voeren.

10 Immobilisatie

10.1 Algemeen

Er is sprake van immobilisatie indien men van een verontreinigde grond of afvalstof weer een functionele bouwstof maakt, waarbij wordt voldaan aan de milieuhygiënische eisen. Gevaarlijke afvalstoffen en teerhoudende materialen mogen niet worden geïmmobiliseerd. Dit geldt ook voor persistente organische verbindingen en kwik, alsmede bepaalde afvalstoffen met hoge concentraties van bepaalde componenten.



Immobilisaat voor verwerking (foto site immobilisatie)

In de nationale beoordelingsrichtlijn voor het NL BSB-procescertificaat van cementgebonden minerale reststoffen BRL 9322 is beschreven op welke wijze een immobilisaat kan worden geproduceerd. Hiernaast is beschreven hoe de kwaliteit kan worden bewaakt en op welke wijze dit wordt gecontroleerd. In de praktijk vindt een vooronderzoek plaats waarin wordt bepaald of het product blijvend voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit. Hierdoor is het niet gewenst en noodzakelijk om tijdens of na de uitvoering te controleren of aan de eisen wordt voldaan.

Immobilisaat wordt meestal toegepast in de fundering van een verhardingsconstructie. In BRL 9322 zijn maar een beperkt aantal civieltechnische eisen opgenomen. Om die reden is het noodzakelijk om vanuit het verhardingsadvies hier nadere eisen voor op te nemen. Indien de constructie met immobilisaat na de gebruiksfase wordt opgebroken, is het mogelijk om het materiaal te breken en weer opnieuw als immobilisaat te gebruiken. Indien het gewenst is om het immobilisaat na de gebruiksfase als gebroken (niet-vormgegeven) bouwstof vrij toe te mogen passen, is het noodzakelijk dat dit in het vooronderzoek wordt onderzocht.

10.2 Civieltechnisch

De producteisen van immobilisaat worden bepaald op basis van BRL 9322 en zijn mede afhankelijk van het ingangsmateriaal.

10.2.1 Draagkracht.

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste materiaaleigenschappen voor de draagkracht weergegeven. Een fundering van immobilisaat in een laagdikte van 250 mm heeft op basis van deze eigenschappen een hoge draagkracht.

Materiaaleigenschap	Bepalingen
Dichtheid – verdichting in werk	2.000 kg/m ³ - 2.150 kg/m ³ 95% - 102% van maximum proctor-dichtheid
Stijfheid	
• CBR onmiddellijk	n.v.t
• Toename in CBR naar 28 dagen	n.v.t
• Oppervlaktemodulus	-
• Ontwerp Stijfheidsmodulus in Cimple	2000 MPa – 3000 MPa
Bindcapaciteit	NVT
Haakweerstand	
• Cohesie	0
• Hoek van inwendige wrijving	30 - 35
Druksterkte na 28 dagen	≥ 1,5 MPa
Treksterkte en breukrek	150 µm/m - 200µm/m

10.2.2 Verwerkbaarheid

De aanleg- en verwerkingsmethodes van immobilisaat en traditionele stabilisaties zijn nauwelijks verschillend. Wel moet meer aandacht worden geschonken aan de homogeniteit van het ingangsmateriaal. Ook is het van belang dat het vooronderzoek wordt uitgevoerd met een voor het te immobiliseren materiaal representatieve monsters. Omdat het materiaal verontreinigd is met stoffen is het noodzakelijk dat de juiste arbo- en veiligheidsmaatregelen worden genomen.

10.2.3 Levensduur

De levensduur komt overeen met die van andere cementgebonden stabilisaties, hoewel er afgevraagd wordt of het risico op bezwijken vanuit het ingangsmateriaal niet groter is.

10.2.4 Hergebruik

Met hergebruik van immobilisaten is nog weinig ervaring opgedaan. Toch is dit thema van groot belang omdat het probleem met het verontreinigde materiaal niet naar de toekomst mag worden verschoven.

10.2.5 Toepassingsaspecten

Overeenkomstig met traditionele stabilisaties is een goede verdichting van immobilisaat van groot belang. Voor de activering van de stabilisator is het belangrijk om de juiste hoeveelheid vocht in de mengsel beschikbaar te hebben. Ook voor dit cementgebonden materiaal moet uitdroging worden voorkomen of binnen 24 uur worden geasfalteerd.

10.3 **Milieuhygiënisch**

10.3.1 Kwaliteitsgarantie

Zoals onder 8.1 aangegeven worden immobilisaten geproduceerd conform BRL 9322. De producent levert een niet uitgehard immobilisaat dat door een aannemer wordt verwerkt in een verhardingsconstructie. Het verwerken en de uitvoering vallen niet onder de BRL. Toch is in de BRL een (voorbeeld) verwerkingsvoorschrift opgenomen.

Leveranciers kunnen zich op basis van de BRL 9322 laten certificeren waarbij zij aangegeven welk type immobilisaat zij kunnen produceren:

- immobilisaat van verontreinigde grond;
- immobilisaat van verontreinigde baggerspecie;

- immobilisaat van AEC-bodemas;
- immobilisaat van industriële afvalstoffen.

Indien een leverancier immobilisaat maakt van verontreinigde grond en/of baggerspecie moet hij tevens een procescertificaat hebben van BRL SIKB 7500, protocol 7510, 'procesmatige ex situ reiniging en immobilisatie van grond en baggerspecie met bewerkingstechniek immobilisatie'.

Het immobilisaat is een vormgegeven bouwstof waarbij in het vooronderzoek moet worden bewezen dat het gedurende de levensduur vormvast is.

Anno 2018 zijn er in Nederland 8 producenten die gecertificeerd zijn om immobilisaat te produceren. Een aantal producenten hebben vestigingen op meerdere locaties. In Limburg is 1 producent gevestigd; Afvalzorg Immobilisatie BV in Brunssum.

10.3.2 Kritische stoffen

Afhankelijk van de ingangsmaterialen kunnen alle stoffen in een immobilisaat kritisch zijn. Teerhoudende materialen en kwik mogen niet in verhoogde gehalten in het ingangsmateriaal aanwezig zijn. Dit geldt ook voor asbest boven 100 mg/kg.ds. De verontreinigingen komen vrij nadat de constructie zijn functie verliest en het materiaal wordt gebroken. In principe is het dan geschikt om opnieuw als immobilisaat dienst te doen.

10.3.3 Circulariteit

Immobilisaat bestaat uit verschillende industriële afvalstoffen, verontreinigde grond of baggerspecie of AEC-bodemas. Omdat van een afvalstof een bouwstof wordt gemaakt die toepasbaar is in wegfunderingen, is immobilisaat circulair.

Indien een wegconstructie met een fundering van immobilisaat bij een reconstructie wordt opgebroken is het materiaal (sterk) gebonden. Hierdoor is het noodzakelijk om bij her-toepassing het materiaal te breken en opnieuw als immobilisaat toe te passen. Hierbij moet opnieuw cement en mogelijk additieven worden toegevoegd. Omdat immobilisaat voor hertoepassing moet worden gebroken, maar er opnieuw cement moet worden toegepast voor het 2^e leven, wordt immobilisaat als voldoende circulair beoordeeld.

10.3.4 Waarde in DuboCalc

De waarde in DuboCalc is onbekend. Veel zal afhangen of het materiaal ter plaatse beschikbaar is of zal moeten worden aangevoerd.

10.3.5 Kwaliteitsborging

Er zijn geen standaardregels voor het toepassen van kwaliteitsborging bij immobilisaties. Een logische werkwijze is om aan te sluiten op de werkwijze van zandcement: van belang is om een goed vooronderzoek uit te voeren met het te gebruiken materiaal. Tijdens de uitvoering is het van belang de mengkwaliteit te controleren alsmede de geproduceerde druksterkte door het boren van kernen op juiste tijdstippen. Ook de laagdikte is van belang. De details zijn beschreven in hoofdstuk 80.2 in de Standaard RAW Bepalingen 2015

11 Asfaltgranulaat

11.1 Algemeen

Asfaltgranulaat is een steenmengsel van korrels dat in belangrijke mate bestaat uit bitumineuze verhardingsmaterialen, verkregen door het breken van asfaltpuin met toevoeging van brekerzand.

De samenstelling van asfaltgranulaat en de eisen waaraan het materiaal ten behoeve van gebonden toepassingen moet voldoen, zijn opgenomen in de Standaard RAW Bepalingen 2015 artikel 80.25.01.



Asfaltgranulaat

De meest hoogwaardige toepassing van asfaltgranulaat is het opnieuw toepassen in warm asfalt als zogenaamd PR-asfalt. In dit hoofdstuk wordt de minder hoogwaardige toepassing als gebonden funderingsmateriaal beschreven.

11.2 Civieltechnisch

Het asfaltgranulaat wordt op onderstaande manieren verwerkt tot een gebonden funderingsmateriaal:

1. Breekasfalt (BRAC) en Asfaltgranulaatcement (AGRAC). Een homogeen mengsel van asfaltgranulaat, brekerzand, cement en water.
2. Asfaltgranulaat gebonden met emulsie en cement (AGREC), ook wel emulsiecement genoemd. Een homogeen mengsel van asfaltgranulaat, zand, bitumenemulsie, cement en water.
3. Asfaltgranulaatemulsie (AGREM). Een homogeen mengsel van asfaltgranulaat, zand, bitumenemulsie en water. Als gevolg van lage weerstand tegen permanente vervorming wordt deze versie van gebonden asfaltgranulaat niet meer toegepast.

11.2.1 Draagkracht.

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste materiaaleigenschappen voor de draagkracht van AGREC weergegeven. Een fundering van AGREC in een laagdikte van 250 mm heeft op basis van deze eigenschappen een zeer hoge draagkracht terwijl die van AGREM hoog is.

Materiaaleigenschap	Bepalingen
Dichtheid – verdichting in werk	1.900 kg/m ³ - 2.050 kg/m ³ 98% - 103% van maximum proctordichtheid
Stijfheid	
• CBR onmiddellijk	n.v.t
• Toename in CBR naar 28 dagen	n.v.t
• Oppervlaktemodulus	-
• Ontwerp Stijfheidsmodulus	AGRAC <ul style="list-style-type: none"> • Mixed in plant en mixed in place - 4000 MPa • In situ 2000MPa; AGREC 2000 MPa
• Stijfheidsmodulus (26 weken)	AGRAC 2500 MPa – 5000 MPa AGREC 2000 MPa – 3500 MPa
Druksterkte (7 dagen / 28 dagen)	1,5 MPa / 2,0 MPa
Breukrek - representatieve waarde breukrek	140 (AGRAC) 240 (AGREC)

11.2.2 Verwerkbaarheid

Er zijn drie uitvoeringsmethoden om een AGRAC-fundering aan te leggen: mixed in plant, mixed in place en in situ-recycling.

11.2.3 Levensduur

Vermoeiing, en dus scheurvorming in de AGRAC, is het belangrijkste faalmechanisme. De levensduur is dus afhankelijk van de optredende rek/spanning onder in de laag.

11.2.4 Hergebruik

Aangezien het aggregaat van hogere kwaliteit is, is hergebruik van asfaltgranulaat, door het 'in situ' of 'in plant' te stabiliseren, of te vermengen met andere granulaten, zeer goed mogelijk.

11.2.5 Toepassingsaspecten

Het is belangrijk dat eventuele krimpscheuren in de AGRAC-fundering niet reflecteren in de asfaltverharding. Overigens komen reflectiescheuren bij AGRAC minder vaak voor dan bij bijvoorbeeld een cementstabilisatie. Tijdens de uitvoering kunnen ter voorkoming van reflectiescheuren de volgende maatregelen worden genomen:

- Aanbrengen van de eerste laag asfalt binnen 24 uur om uitdroging en ontstaan van krimpscheuren te beperken.
- Het afsproeien met bitumenemulsie.
- Aanbrengen van een asfaltverharding met voldoende dikte. Bij verkeersklasse 2 en 3 wordt minimaal 120 mm en bij verkeersklasse 4 wordt minimale asfaltdekking van 140 mm aanbevolen.
- Aanbrengen van een scheurremmende of scheurombrekende laag tussen de fundering en de asfaltverharding, zoals een SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer).

11.3 Milieuhygiënisch

11.3.1 Kwaliteitsgarantie

Asfaltgranulaat afkomstig bij een gecertificeerde puinbreker wordt geproduceerd onder de 'Nationale Beoordelingsrichtlijn voor Recyclinggranulaten', 2506-2. Op basis van deze BRL wordt het productcertificaat door de leverancier afgegeven. Met dit certificaat wordt aangetoond dat het materiaal voldoet aan het Besluit bodemkwaliteit en dat het vrij in een civiel werk mag worden toegepast.

Indien asfaltgranulaat wordt toegepast als een (cement) gebonden fundering volstaat het certificaat 2506-2 niet omdat ook zand en cement worden toegevoegd. In de praktijk wordt dit opgelost door het asfaltgranulaat AP04 en het zand AP04 te bemonsteren en met het te gebruiken bindmiddel proefstukken te vervaardigen die na uitharden worden geanalyseerd en getoetst aan het Besluit bodemkwaliteit.

11.3.2 Kritische stoffen

De kritische stof in asfaltgranulaat is PAK.

11.3.3 Circulariteit

Asfaltgranulaat is afkomstig uit opgebroken asfaltconstructies. De meest hoogwaardige toepassing is om het als PR weer toe te voegen aan warm asfalt. Dit is al mogelijk tot 60%. Omdat het toepassen in een gebonden fundering een laagwaardigere toepassing is dan toepassen in warm asfalt, wordt deze toepassing als niet circulair beoordeeld.

Indien een wegconstructie met een fundering van BRAC bij een reconstructie wordt opgebroken, is het materiaal (sterk) gebonden. Hierdoor is het noodzakelijk om bij her-toepassing het materiaal te breken en opnieuw als BRAC toe te passen. Hierbij moet opnieuw cement en mogelijk additieven worden toegevoegd. Omdat BRAC voor hertoepassing moeten worden gebroken, maar er opnieuw cement moet worden toegepast voor het 2^e leven, wordt BRAC als voldoende circulair beoordeeld.

11.3.4 Waarde in DuboCalc

Er zijn geen gegevens bekend voor dit materiaal.

11.3.5 Kwaliteitsborging

Van belang is om een goed vooronderzoek uit te voeren met het te gebruiken asfaltgranulaat en cement. Tijdens de uitvoering is het van belang de mengkwaliteit te controleren alsmede de geproduceerde druksterkte door het boren van kernen op juiste tijdstippen. De details zijn beschreven in hoofdstuk 80.2 in de Standaard RAW Bepalingen 2015. Hiernaast is het van groot belang om te controleren of het asfaltgranulaat geen teerbitumen bevat. Ook de laagdikte dient gecontroleerd te worden.

12 Cement Treated Base

12.1 Algemeen

12.2 Civieltechnisch

Cement Treated Base (CTB) is een mengsel van mineraal aggregaat, zand, cement en water. Het mineraal aggregaat kan bestaan uit bouw- en sloopafvalgranulaten of steenslag, maar ook uit combinaties ervan. CTB wordt vooral gebruikt in constructies ten behoeve van hoge verkeersbelasting met vrachtwagens.

12.2.1 Draagkracht.

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste materiaaleigenschappen voor de draagkracht weergegeven. Een fundering van CTB in een laagdikte van 250 mm heeft op basis van deze eigenschappen een zeer hoge draagkracht.

Materiaaleigenschap	Bepalingen
Dichtheid – verdichting in werk	2.000 kg/m ³ - 2150 kg/m ³ 95% - 102% van maximum proctordichtheid
Stijfheid	
• CBR onmiddellijk	n.v.t
• Toename in CBR naar 28 dagen	n.v.t
• Oppervlaktemodulus	-
• Ontwerp Stijfheidsmodulus	5000 MPa
• Stijfheidsmodulus (26 weken)	3000 MPa – 9000 MPa
Bindcapaciteit	NVT
Haakweerstand	
• Cohesie	0
• Hoek van inwendige wrijving	30 - 35
Druksterkte na 28 dagen	≥ 10 MPa
Treksterkte en breukrek	1.18 MPa 125 – 145 µm/m
Weerstand tegen permanente vervorming	Verbrijzeling sterkte bepalend uit de verticale druksterkte van de funderingsmateriaal.

12.2.2 Verwerkbaarheid

De bereiding en verwerking kan zowel 'mixed in place' als 'mixed in plant' plaatsvinden. Zodra het bindmiddel door het mineraal aggregaat is gemengd en vocht is toegevoegd, komt het bindingsproces in de verse specie op gang. Hierdoor is de verwerkingstijd beperkt. Het is dus belangrijk om op de hoogte te zijn van de snelheid waarmee het bindingsproces zich zal voltrekken.

12.2.3 Levensduur

Vermoeiing, en dus scheurvorming in de Cement Treated Base als ook verbrijzeling aan de bovenkant van de laag is de optredende faalmechanismes. De levensduur is dus afhankelijk van de optredende rek/spanning onderin de laag en de verticale drukspanning bovenop de laag.

12.2.4 Hergebruik

Het is mogelijk om Cement Treated Base-fundering te hergebruiken als gebonden of niet-gebonden fundering. De funderingslaag kan in situ of in plant herbewerkt worden door toevoeging van cement om zodoende hergebruikt te kunnen worden als nieuwe Cement Treated Base-funderingslaag.

12.2.5 Toepassingsaspecten

Het materiaal dient te worden beschermd tegen uitdroging c.q. snel te worden geasfalterd. Snel asfalteren (binnen 24 uur) heeft de voorkeur.

Om scheurdoorslag te voorkomen wordt aanbevolen om bij een verkeersklasse 2 en 3 een asfaltdekking van minimaal 120 mm aan te brengen. Bij verkeersklasse 4 wordt een minimale asfaltdekking van 140 mm aanbevolen.

12.3 Milieuhygiënisch

12.3.1 Kwaliteitsgarantie

In tegenstelling tot immobilisaten worden CTB-mengsels (in het algemeen) niet vervaardigd van verontreinigde grondstoffen. Aangezien er geen gecertificeerde mengsels beschikbaar zijn, is de kwaliteitsgarantie wel bemoeilijkt. Aantoning door middel van een vooronderzoek met APO4-bemonstering van de toe te passen materialen lijkt de meest haalbare weg.

12.3.2 Kritische stoffen

Uitgaande van schone grondstoffen mag men ervan uitgaan dat er geen kritische stoffen zijn. Indien van verontreinigde materialen wordt uitgegaan zijn de stoffen waarmee de grondstoffen zijn verontreinigd de kritische stoffen.

12.3.3 Circulariteit

CTB-mengsels worden vervaardigd van verschillende materialen. Afhankelijk van de aard van het materiaal primair of secundair is het mengsel minder of meer circulair.

Indien een wegconstructie met een fundering van CTB bij een reconstructie wordt opgebroken is het materiaal (sterk) gebonden. Hierdoor is het noodzakelijk om bij her-toepassing het materiaal te breken en opnieuw als CTB-fundering toe te passen. Hierbij moet opnieuw cement worden toegevoegd. Omdat een CTB-fundering voor hertoepassing gebroken moet worden en er opnieuw cement moet worden toegepast voor het 2^e leven, wordt een CTB-fundering als voldoende circulair beoordeeld.

12.3.4 Waarde in DuboCalc

Is niet bekend voor dit materiaal. Als het plaatselijk materiaal is, zal de waarde worden gedrukt.

12.3.5 Kwaliteitsborging

Het lijkt logisch aan te sluiten op de kwaliteitsborging toegepast bij een fundering van asfaltgranulaat: van belang is om een goed vooronderzoek uit te voeren met het te gebruiken materiaal. Tijdens de uitvoering is het van belang de mengkwaliteit te controleren alsmede de geproduceerde druksterkte door het boren van kernen op juiste tijdstippen. De details zijn beschreven in hoofdstuk 80.2 in de Standaard RAW Bepalingen 2015. Ook de laagdikte dient gecontroleerd te worden. Van groot belang is om na te gaan of het materiaal min of meer homogeen is.

13 Algemene aspecten

13.1 Algemeen

In dit rapport zijn de gebruikelijke en een aantal relatief nieuwe funderingsmaterialen beschreven. In de praktijk worden de materialen gekozen op basis van de gewenste prestatie en de materiaaleigenschappen. Hierdoor is het dus lastig een algemene keuze te maken voor een funderingsmateriaal.

13.2 Materialen vergelijking

Het is niet eenvoudig om aan te geven welk funderingsmateriaal in algemene zin het beste is om in weg- en fietspadconstructies toe te passen. Om die reden is een afwegingstabel gemaakt waarin alle beschreven materialen zijn opgenomen en ten opzichte van het funderingsmateriaal menggranulaat zijn gewogen. In deze conceptversie is het overigens nog zoeken naar de juiste afweging! De afwegingstabel is opgenomen in bijlage 1.

Voorgesteld wordt om in overleg met de provincie vast te stellen wat de belangrijkste aspecten zijn, waarna die aspecten een hogere weegfactor krijgen. De in deze versie van het rapport opgenomen weegtabel betreft dus een concept.

13.3 Verkrijgbaarheid in Limburg

Menggranulaat is algemeen verkrijgbaar in Limburg, terwijl de verkrijgbaarheid van betongranulaat afneemt. Hydraulisch menggranulaat is bij een aantal leveranciers onder certificaat verkrijgbaar, maar wordt naar verwachting beter verkrijgbaar als de vraag toeneemt.

Hoogovenslakkenmengsel is verkrijgbaar voor grotere projecten. Naar verwachting wordt het uit Duitsland aangevoerd. Fosforslakken zijn naar verwachting tot 2020 verkrijgbaar.

De kennis van de verwerking en kwaliteitsborging van constructies met zandcement zijn zodanig weggezakt dat wij verwachten dat dit materiaal slecht verkrijgbaar is, hoewel de materialen zand en cement natuurlijk beschikbaar zijn.

AEC-bodemas toepasbaar als funderingsmateriaal is nog niet zodanig beschikbaar. De verwachting is dat als de vraag naar dit materiaal als fundering toeneemt, het materiaal meer beschikbaar komt.

Bedrijven die immobilisaten vervaardigen zijn beperkt in Limburg gevestigd. Ook hier geldt dat als de vraag toeneemt, het aanbod naar verwachting ook zal toenemen.

Asfaltgranulaat is bij de meeste puinbrekers verkrijgbaar.

13.4 Kwaliteitsborging tijdens de uitvoering

Afhankelijk van het type contract en het type fundering is het raadzaam op naast de kwaliteitsborging door de aannemer een verificatie vanuit de directie toe te passen. Op deze wijze wordt bereikt dat een fundering wordt aangelegd met een hoge kwaliteit. De verificatie kan op basis van aangetoonde kwaliteit worden verminderd of indien noodzakelijk verhoogd. Geadviseerd wordt om de (kwaliteit van de) fundering als stoppunt op te nemen in de kwaliteitscontrole.

13.5 Risico's

Oude vertrouwde materialen los laten en nieuwe materialen omarmen is niet gemakkelijk, maar tegenwoordig wel noodzakelijk. Door te starten met proefprojecten en die goed te begeleiden, kan het risico worden beperkt.

De risico's met gebonden materialen, of met zelfbindende materialen, zijn hoger dan ongebonden materialen. Deze risico's zijn echter niet altijd te ontlopen omdat bij zwaar belaste constructies een gebonden fundering een voorwaarde is.

13.6 Afwegingstabel

Om de funderingsmaterialen met elkaar te vergelijken is een algemene afwegingstabel gemaakt. In eerste instantie zijn de materialen gewogen op civieltechnische aspecten (45%), milieutechnische aspecten (30%) en algemene aspecten (25%). Binnen deze aspecten zijn de funderingsmaterialen ten opzichte van elkaar op verschillende onderdelen gewogen in de afwegingstabel. De meeste van deze onderdelen zijn beschreven in de materialen hoofdstukken van dit rapport. Dit geldt niet voor de levensduur en het prijstechnische aspect.

Voor alle beschreven eigenschappen werd op basis van onze ervaring een score toegekend ten opzichte van de betongranulaat fundering. De gesommeerde score is daarom afhankelijk van de score ten opzichte van betongranulaat en het toegewezen gewicht.

13.6.1 Levensduur

De afweging van de levensduur is bepaald door uit te gaan van een typische provinciale weg met zware verkeersbelasting. De constructie is ontworpen voor een levensduur van 20 jaar uitgaande van een betongranulaatfundering in het dimensioneringsprogramma OIA. Dit resulteerde in een referentieontwerp van 195 mm asfalt met een 250 mm betongranulaatfundering.

Dezelfde verhardingsconstructie (195 mm asfalt over 250 mm fundering) met een zware verkeersbelasting is vervolgens berekend met de verschillende alternatieve funderingsmaterialen. De hieruit resulterende levensduur van de verhardingen is weergegeven in bijlage 2.

Omdat gebonden funderingen een risico op reflecterende scheurvorming hebben, is de berekende levensduur van deze verhardingen verminderd. De resulterende levensduur werd vervolgens vertaald naar de referentie-score van de vergelijkingstabel op basis van de berekende levensduur ten opzichte van betongranulaat.

Score	Levensduur t.o.v. een constructie met betongranulaat
2	>50%
1	>25%
0	<-25% tot <25%
-1	>-25%
-2	>-50%

13.6.2 Prijstechnisch

Het bleek niet mogelijk om voor de beschreven materialen eenduidige leveringsprijzen voor de gehele provincie vast te stellen. Hierin spelen afstanden naar de locatie, de omvang van de levering en markttechnische aspecten een rol.

Het toekomstige onderhoud zal ook afhangen van het type funderingen dat wordt gebruikt. Om een afweging op kosten te maken is een goede methode om gebruik te maken van de levenscycluskostenanalyse (LCC). Hierbij wordt rekening gehouden met zowel de initiële kapitaalkosten als de toekomstige onderhoudskosten. Op basis van de LCC-analyse over een periode van 20 jaar is een prijsindicatie voor de verschillende funderingen opgenomen in de afwegingstabel in bijlage 2.

De aangehouden eenheidstarieven zijn typische maatregeltarieven die in 2019 in het beheerprogramma Obsurv van Sweco worden gebruikt. De initiële kapitaalkosten zijn gerelateerd ten opzichte van de eenheidskosten voor menggranulaat.

De onderhoudsmaatregel en interventietermijn zijn gebaseerd op de levensduur van de verharding en het risico van bepaalde optredende schade, zoals scheurvorming door het krimpen van de fundering. Alle toekomstige kosten zijn verdisconteerd tot de huidige kosten met behulp van CPI van 1,5%. Om de LCC-resultaten in het afwegingstabel te hanteren is onderstaande score tabel gebruikt.

Score	LCC-kosten t.o.v. beton in %
2	>-10%
1	>-5%
0	<-5% tot <5%
-1	>5%
-2	>10%

Het negatieve percentage in bovenstaande tabel dient gelezen te worden als een besparing (negatieve kosten). Dus wanneer de kosten van een materiaal > -10% (ofwel "besparing") ten opzichte van betongranulaat zijn, krijgt dat materiaal 2 punten. Als de kosten van een materiaal > 10% (dus 10% hogere kosten) zijn ten opzichte van betongranulaat, dan krijgt dat materiaal een waardering -2 hiervoor.

Bijlage 1 Afwegingstabel

Parameter	Geweegde Gewicht	Betongranulaat (Referentie)	Menggranulaat	Hydraulische-menggranulaat	Hydraulische-menggranulaat met LD-mix	Hoogovenslakken	Fosforslakken	Zandcement	AEC-bodemas	Immobilisaat	Asfaltgranulaat	CTB
Civieltechnisch	45%											
Draagkracht	5%	0	-1	0	0	2	1	2	-2	0	2	2
Verwerkbaarheid	5%	1	1	1	1	-1	0	-1	0	0	-1	-1
Levensduur	15%	0	-1	0	0	1	1	1	-2	0	2	2
Hergebruik	10%	1	1	0	0	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1
Toepassingsaspecten	3%	0	-1	0	0	0	-2	-1	-2	0	0	0
Risico op scheurvorming	5%	0	0	0	0	-2	-2	-1	0	-1	-1	-1
Certificatie	3%	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	-1
Milieutechnisch	30%											
Kwaliteitsgarantie	10%	2	1	0	2	1	1	0	0	0	1	1
Circulariteit	10%	1	2	2	2	-1	1	1	2	1	-2	1
waarde DuboCalc	10%	1	2	2	2	2	2	-2	2	1	0	2
Algemene aspecten	25%											
Verkrijgbaarheid	10%	0	2	1	1	0	-2	0	-1	1	1	0
Kwaliteitsborging	5%	2	2	0	1	2	2	-2	-2	-2	-1	-1
Prijs (LCC over 20 jaar levensduur)	10%	0	-1	0	0	2	2	2	-2	1	0	1
Σ	100%	0.65	0.63	0.55	0.80	0.50	0.45	0.13	-0.53	0.13	0.15	0.63

Beoordeeld teenoor de eigenschappen van Menggranulaat

2	Zeer Positief
1	Positief
0	Neutraal
-1	Negatief
-2	Zeer Negatief

Bijlage 2 Restlevensduur en LCC-analyses

	Betonggranulaat (Referentie)	Menggranulaat	Hydraulische-menggranulaat	Hydraulische-menggranulaat LD-Slakken	Hoogovenslakken	Fosforslakken	Zandcement	AEC-bodemas	Immobilisaat	Asfaltgranulaat	CTB
Deklaag SMA-NL 11B	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Tussenlaag TDL-IB 16	50	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Onderlaag RAW-onderlaagmengsel	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Dikte Fund	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Structurele Levensduur	20	10	20	20	40	40	40	3	20	40	40
Risico doorscheuren	L	L	M	M	H	H	H	L	M	M	M
Reduceerd levensduur	20	10	16	16	26.8	26.8	26.8	3	16	32	32
% Levensduur	0%	-50%	-20%	-20%	34%	34%	34%	-85%	-20%	60%	60%
Levensduur Score	0	-1	0	0	1	1	1	-2	0	2	2
Life Cycle Cost											
Eerste constructie Maatregel - Jaar 0											
<i>maatregel</i>	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345
<i>kosten / m²</i>	€ 67.38	€ 67.38	€ 67.38	€ 67.38	€ 67.38	€ 67.38	€ 67.38	€ 67.38	€ 67.38	€ 67.38	€ 67.38
<i>Kosten t.o.v menggranulaat</i>	20%	0%	10%	15%	20%	20%	20%	0%	0%	30%	20%
<i>Totaal</i>	€ 80.86	€ 67.38	€ 74.12	€ 77.49	€ 80.86	€ 80.86	€ 80.86	€ 67.38	€ 67.38	€ 87.59	€ 80.86
1ste Onderhoud											
<i>Jaar van onderhoud</i>	10	10	8	8	10	10	10	3	10		
<i>maatregel</i>	Frezen 4cm + deklaag	Asfalt en fundering verv.345	Frezen 4cm + deklaag	Frezen 4cm + deklaag	Fr.8cm+tussenlaag+dekl aag	Frezen 4cm + deklaag	Frezen 4cm + deklaag	Asfalt en fundering verv.345	Frezen 4cm + deklaag	Frezen 4cm + deklaag	Frezen 4cm + deklaag
<i>kosten / m²</i>	€ 40.09	€ 67.38	€ 40.09	€ 40.09	€ 40.66	€ 40.09	€ 40.09	€ 67.38	€ 40.09	€ 40.09	€ 40.09
2de Onderhoud											
<i>Jaar van onderhoud</i>	20	20	16	16	20	20	20	6	16	20	20
<i>maatregel</i>	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Fr.8cm+tussenlaag+dekl aag	Fr.8cm+tussenlaag+dekl aag	Fr.8cm+tussenlaag+dekl aag	Asfalt en fundering verv.345	Asfalt en fundering verv.345	Fr.8cm+tussenlaag+dekl aag	Fr.8cm+tussenlaag+dekl aag
<i>kosten / m²</i>	€ 67.38	€ 67.38	€ 67.38	€ 67.38	€ 40.66	€ 40.66	€ 40.66	€ 67.38	€ 67.38	€ 40.66	€ 40.66
LCC											
Life Cycle Cost / m²	€ 165.43	€ 175.47	€ 162.80	€ 166.17	€ 146.08	€ 145.59	€ 145.59	€ 193.44	€ 155.02	€ 157.87	€ 151.13
Kosten % t.o.v betonggranulaat	0%	6%	-2%	0%	-12%	-12%	-12%	17%	-6%	-5%	-9%
LCC Score	0	-1	0	0	2	2	2	-2	1	0	1

Uitgangspunten	
Ontwerperperiode	20
Aantal werkdagen per jaar	270
Snelheid vrachtverkeer	60
Aantal rijstroken per rijrichting	1
Rijstrookbreedte	3,5
Afst. kantsreep tot rand verhard.	0
Aslastspectrum	Provinciale weg
Bandenspectrum	Standaard
Herkomst verkeersbelasting	Telling met classificatie op wegvak
Aantal motorvoertuigen per dag per richting	4317
Percentage vrachtverkeer	9%
L	1
M	0.8
H	0.67
CPI	1.50%

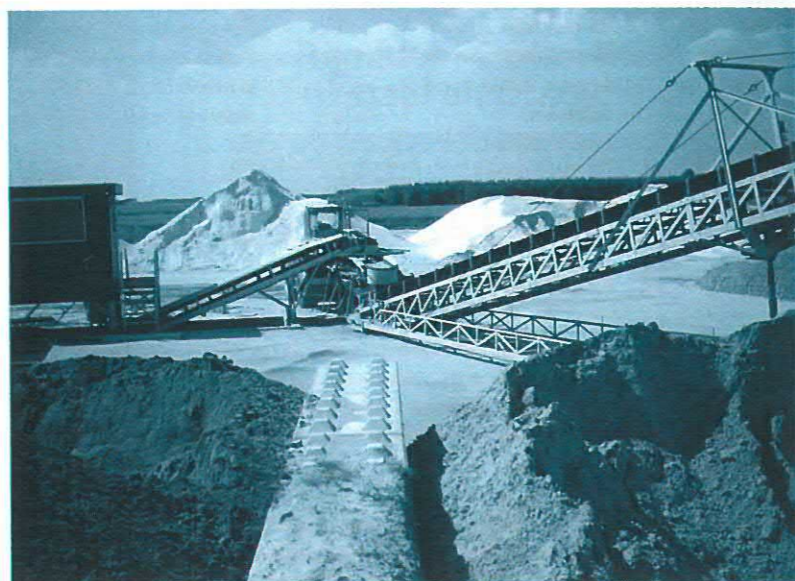
Levensduur Score	
2	>-50%
1	>-25%
0	<-25% and <25%
-1	>25%
-2	>50%

LCC Score	
2	>-10%
1	>-5%
0	<-5% and <5%
-1	>5%
-2	>10%

Bijlage 3 Artikel Magneetproef

Magneetproef geeft snel inzicht in hydraulischeiteit van steenfunderingen

Door aan menggranulaat hydraulische slak toe te voegen, wordt het draagvermogen van dit wegfunderingsmateriaal aanmerkelijk vergroot. Hierdoor kan kostbaar asfalt worden bespaard. Maar je moet dan wel zeker weten dat de beoogde draagkracht inderdaad wordt bereikt. Visueel is echter niet vast te stellen of menggranulaat (een voldoende hoeveelheid) hydraulische slak bevat en een snelle onderzoeksmethode ontbreekt. Met de magneetproef denkt Grontmij in deze dringende behoefte te kunnen voorzien.



DOSEERINRICHTING

Dat het draagvermogen van steenfunderingen aanzienlijk toeneemt door toevoeging van hydraulische slak - in de praktijk vrijwel altijd LD-slak, ook wel aangeduid als stabilisator - is de laatste tijd duidelijk aangetoond. Op talrijke proefvelden is gebleken dat met deze toevoeging gemakkelijk elasticiteitsmoduli haalbaar zijn van 1000 tot 1500 MPa, en soms zelfs meer dan 2000 MPa. Omdat een hoger draagvermogen van de fundering meestal betekent dat minder asfalt nodig is, en omdat de kosten van hydraulisch menggranulaat beduidend lager liggen dan die van asfalt, is de toepassing van zo'n steenfundering vaak een aantrekkelijke optie.

Maar nu de praktijk. De aanleg of reconstructie van een weg is in volle gang. De eerste vrachtwagens met menggranulaat storten hun ladingen en wielladers beginnen het materiaal te spreiden. Ook als de directie niet de minste twijfel heeft over de integriteit van de leverancier, zal ze toch uitsluitend willen over de kwaliteit

van het materiaal. Er kan immers altijd iets misgegaan zijn bij de productie en er hangt nogal wat van af. Volgens de Standaard 2000 behoort het aandeel hydraulische slak in hydraulisch menggranulaat tussen de 5 en 20 procent (m/m) te liggen. Grontmij houdt het als regel op circa 10%: meer heeft geen zin omdat de draagkracht bij hogere doseringen niet meer wezenlijk toeneemt. Maar ongeacht het gedoseerde percentage, visueel is niet waarneembaar of stabilisator is toegevoegd.

Als de directie (of een andere belanghebbende) hierover duidelijkheid wil verkrijgen, is zij genoodzaakt een chemische analyse te laten uitvoeren. Daarin worden onder meer de gehalten chroom en vanadium in het mengsel bepaald, twee stoffen die kenmerkend zijn voor de samenstelling van stabilisator. Een groot bezwaar is echter dat voor de uitvoering van zo'n chemische analyse minstens een week nodig is. In die week zullen de werkzaamheden normaal ge-

sproken doorgaan. Misschien is tegen de tijd dat de uitslag bekend wordt, zelfs het asfalt al aangebracht. En dan maar hopen dat er niks mis is met het funderingsmateriaal. Een snellere proef zou kortom zeer welkom zijn.

Magneet

Een magneet met een diameter van 100 mm, een balans met een nauwkeurigheid van 0,1 gram, een zorgvuldige proefprocedure en een goede omrekenmethode lijken in deze behoefte te kunnen voorzien.

Slak verhoogt draagkracht

In het algemeen is het aantrekkelijk om de draagkracht van steenfunderingen te vergroten door toevoeging van hydraulische slak. Ruwweg tot een elasticiteitsmodulus van 1000 à 2000 MPa. Bij dergelijke waarden kan worden volstaan met minder asfalt, zonder dat civieltechnische problemen optreden. Om dit doel te bereiken, wordt vrijwel altijd LD-slak toegepast als stabilisator (met hoogovenslak zijn nog veel hogere E-waarden te bereiken, maar wanneer de fundering zich als beton gaat gedragen, is het middel erger dan de kwaal).

LD-slak ontstaat bij de productie van staal volgens de methode Linz-Donawitz en wordt door breken en zeven geschikt gemaakt als bouwstof. LD-slak bevat sporen van een groot aantal elementen en chemische verbindingen, waarvan sommige op zich schadelijk kunnen zijn voor het milieu. De concentraties zijn echter dermate gering en de uitloging verloopt zodanig langzaam dat het materiaal zonder speciale voorzorgsmaatregelen mag worden toegepast.

In het recente verleden is de draagkracht van wegconstructies met hydraulische steenfunderingen uitgebreid onderzocht. Grontmij heeft met name in het noorden van het land een groot aantal wegvakken bemeten, waarvan de leeftijd varieerde van 1 tot 10 jaar. Ook de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat heeft, in het kader van onderzoek naar de functionele eigenschappen van steenmengsels, onderzoek gedaan naar de toename van de draagkracht bij hydraulisch menggranulaat. Ze kwam tot ongeveer dezelfde resultaten (zie 'Eindrapportage proefvelden Rondweg Alphen', augustus 2001). Overigens betrof het in laatstgenoemd onderzoek toevoegingen van slechts 5% stabilisator aan het menggranulaat.

In het laboratorium moet de toename van het draagvermogen van steenmengsels worden aangetoond met de CBR-methode. Hierbij geldt een eis van 150% na 28 dagen (Standaard 2000, hoofdstuk 28.16.06 lid 07). In de weg wordt de elasticiteitsmodulus bepaald door valgewichtdeflectiemetingen. De te bemeten funderingslagen moeten hiervoor zijn afgedekt met minstens één asfaltlaag.

Met de magneetproef kan binnen twaalf uur een vrij nauwkeurige indicatie worden verkregen van het gehalte hydraulische slak in menggranulaat. Zonder kostbare apparatuur, ingewikkelde procedures of hoogopgeleide specialisten. Het principe is dan ook erg eenvoudig. Van stabilisator is bekend dat dit zo'n 10 tot 15 procent ijzer bevat. Als je een magneet door hydraulische slak beweegt, blijft er dus heel wat ijzerhoudend materiaal aan hangen. Menggranulaat daarentegen bevat nauwelijks ijzer, zo leert de praktijk. Stel nu dat aan een zekere hoeveelheid menggranulaat bijvoorbeeld tien procent slak is toegevoegd. Wanneer de magneet door dit mengsel wordt bewogen, zal de 'oogst' per volume-eenheid uiteraard minder groot zijn dan bij pure stabilisator. Maar als er aanmerkelijk meer ijzerhoudend materiaal wordt aangetrokken dan bij gewoon menggranulaat, is de conclusie duidelijk: er is hydraulische slak toegevoegd.

In het kader 'Proefomschrijving' is de werkwijze meer in detail weergegeven. Deze tekst zou, met wellicht een enkele aanpassing, op termijn kunnen worden opgenomen in Standaard RAW Bepalingen. Hier volgen nog enkele opmerkingen ter toelichting. De hoeveelheden te bemonsteren stabilisator en menggranulaat vloeien voort uit proef 6 van de Standaard 2000, op basis van de grootste korreldiameter. Om de praktische uitvoerbaarheid te vergroten, wordt van zowel het monster stabilisator als het monster (verondersteld hydraulisch) menggranulaat de fractie 2 mm - C4 afgescheiden. Alleen deze fracties worden onderzocht. Het 'verzamen' van magnetisch materiaal gaat



SPREIDING VAN MENGGRANULAAT IN DE WEG

door totdat minder dan 1 gewichtsprocent van het gehele monster aan magnetisch materiaal aan de magneet blijft hangen. De gewichten B en D betreffen de hoeveelheden afgescheiden magnetisch materiaal.

Resultaten

Bij de uitwerking van de proefmethode is onderzocht met welke nauwkeurigheid de hoeveelheden aangetrokken magnetisch materiaal iets zeggen over de toegevoegde

hoeveelheden stabilisator. Om daarover uitspraken te kunnen doen en de reikwijdte van de methode te bepalen, heeft Grontmij een reeks monsters van uiteenlopende puinbrekerijen onderzocht. Het aantal waarnemingen is nog te klein om verstrekkende conclusies te kunnen trekken, maar de tendens is duidelijk: de magneetproef levert een redelijk betrouwbare indicatie van de hoeveelheid stabilisator in een menggranulaat.

In de tabel zijn de resultaten van de proefnemingen weergegeven. Hiervoor werden hydraulische en enkele niet-hydraulische menggranulaten van in totaal negen breekinstallaties onderzocht. Het aantal bepalingen verschilde per geval. De derde kolom toont het gevonden gehalte stabilisator, gemiddeld over de waarnemingen per mengsel. De cijfers laten zien dat de hydraulische menggranulaten beduidend meer stabilisator bevatten dan de niet-hydraulische, wat ook verwacht mag worden. Gemiddeld over alle (55) waarnemingen bevatten de hydraulische menggranulaten 7,4% stabilisator, de andere slechts 1,6%. Opvallend zijn de relatief hoge score van niet-hydraulisch mengsel B (3,7%) en de relatief lage score van hydraulisch mengsel G (3,2%). Om de oorzaken hiervan te achterhalen, is nader onderzoek nodig.

In de vierde en vijfde kolom zijn achtereenvolgens de standaardafwijking en (indien bekend) de doseermethode weergegeven. De standaardafwijking geeft een indicatie van de nauwkeurigheid van de bepaling. Het aantal proeven in dit onderzoek is zoals gezegd te laag om een statistisch verantwoorde conclusie te kunnen trekken. De berekende standaardafwijkingen zijn alleen gebruikt om de resultaten tussen de brekers onderling te kunnen vergelijken.

De Standaard RAW Bepalingen schrijven voor dat hydraulische slak 'in een beheerst proces gelijkmatig moet worden gedoseerd en gemengd

Gehalte stabilisator in hydraulisch menggranulaat

Breker	Type menggranulaat	Aantal bepalingen	Gevonden gehalte (gemiddeld) in %	Standaardafwijking in %	Doseermethode
A	hydraulisch	5	9,1	1,9	wiellaadschop: 1 bak stabilisator + 9 bak menggranulaat
B	hydraulisch	7	6,6	3,4	wiellaadschop: bak stabilisator tegen depot menggranulaat + opladen
B	niet-hydr.	1	3,7	-	-
C	hydraulisch	3	6,5	1,1	niet bekend
D	hydraulisch	7	8,7	5,6	doseerinrichting
D	niet-hydr.	1	0,8	-	-
E	hydraulisch	15	9,6	2,1	doseerinrichting
F	hydraulisch	10	7,8	1,6	doseerinrichting
F	niet-hydr.	2	0,8	0,2	-
G	hydraulisch	3	3,2	1,2	doseerinrichting
H	niet-hydr.	1	1,2	-	-
I	hydraulisch	5	7,3	2,7	niet bekend
Totaal hydraulisch		55	7,4	3,1	
Totaal niet-hydr.		5	1,6	1,2	

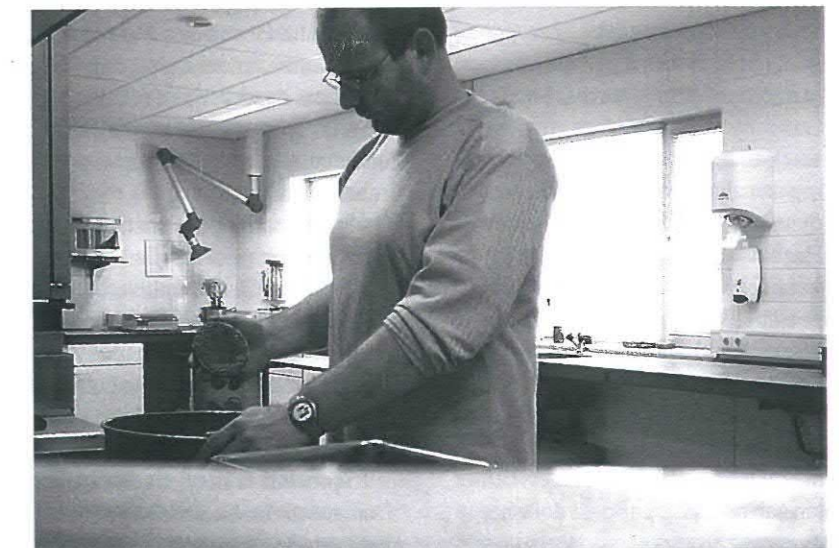
met het menggranulaat' (hoofdstuk 28.16.06. lid 03). Op grond van deze bepaling mag worden verondersteld dat doseerinrichtingen in het voordeel zijn ten opzichte van menging met behulp van een wiellaadschop. Mengsels verkregen met een doseerinrichting zouden met andere woorden een lagere standaardafwijking moeten tonen. De scores wijzen inderdaad in die richting, zij het niet zonder meer overtuigend. Vooral de uitschieter van 5,6% bij een doseerinrichting gooit in dit opzicht roet in het eten.

Conclusies

De scheiding tussen hydraulisch en niet-hydraulisch menggranulaat kan - bij een veronderstelde toevoeging van 10% stabilisator - ruwweg worden gelegd bij een gevonden stabilisatorgehalte van 5%. Ligt het laatstgenoemde percentage lager, dan is er geen of zeer weinig stabilisator toegevoegd. De proefresultaten varieerden van 0,8 tot 3,7% procent, met als gemiddelde 1,6%. Als het gevonden percentage boven de 5% uitkomt, dan mag de hoeveelheid stabilisator voldoende worden ge-

acht. In de proef liepen de percentages uiteen van 6,5 tot 9,6%; gemiddeld 7,4%. De eerder genoemde uitbijter van 3,2% is hierbij overigens buiten beschouwing gelaten. Bij een dergelijke uitkomst - en in ieder ander geval waar twijfel ontstaat - is nader onderzoek door chemische analyse op zijn plaats. Een verschil met het verleden is wel dat er dan een argument is om een nader onderzoek te doen.

De magneetproef blijkt een duidelijke indicatie te kunnen geven van de aanwezigheid van stabilisator in een menggranulaat. Hierdoor kan in veel gevallen op eenvoudige wijze worden vastgesteld of een menggranulaat al dan niet als hydraulisch mag worden bestempeld. En dus of het, na enige tijd, inderdaad de beoogde draagkracht zal leveren.



MAGNEETPROEF IN UITVOERING

Proefomschrijving

Benodigde apparatuur:

- magneet met diameter 100 mm (gelijke en voldoende sterkte bij Ad 1 en Ad 2)
- balans (nauwkeurigheid 0,1 gram)

Werkwijze:

Stabilisator:

Ad 1 Bepaal het (droge) gewicht van het monster [A]

Zeef de fractie 2 mm - C4 uit.

Scheid van deze fractie met behulp van de magneet het magnetisch materiaal van het niet-magnetisch materiaal tot er minder dan 1% van het magnetisch materiaal aan de magneet blijft hangen. Bepaal dit gewicht [B].

Hydraulisch menggranulaat:

Ad 2 Bepaal het (droge) gewicht van het monster [C]

Zeef de fractie 2 mm - C4 uit.

Scheid van deze fractie met behulp van de magneet het magnetisch materiaal van het niet-magnetisch materiaal tot er minder dan 1% van het magnetisch materiaal aan de magneet blijft hangen. Bepaal dit gewicht [D].

Berekening:

Bereken het percentage stabilisator met de volgende formule:

Gehalte stabilisator = $((A/B) \times (D/C)) \times 100\%$