

Betoniek

Grondstoffen

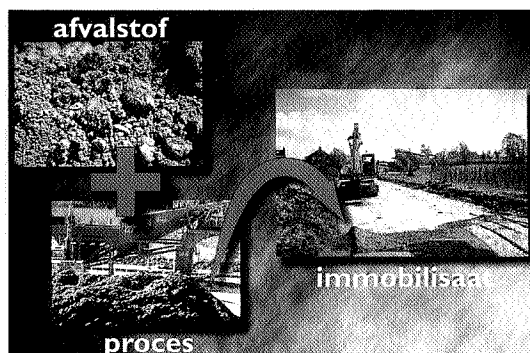
Immobilisatie met cement

Ingepakt in cementsteen

'Het blijft zitten waar het zit en verroert zich niet', dat is wat er kortgezegd gebeurt met verontreinigingen in afvalstoffen bij immobilisatie. De verontreinigingen worden zodanig 'ingepakt' dat ze niet of nauwelijks meer kunnen bewegen. Omdat daardoor minder of geen verontreinigingen meer vrijkomen, wordt de afvalstof minder gevaarlijk of zelfs bruikbaar als bouwstof. Er zijn verschillende immobilisatietechnieken en bij één ervan wordt cement gebruikt als bindmiddel. Deze techniek sluit bijna naadloos aan bij het dagelijkse werk van de betontechnoloog. Omdat immobilisatie voor de meeste betontechnologen een nog onbekend terrein is, gaan we in deze *Betoniek* dieper in op het immobiliseren van afvalstoffen met cement. **Waarom wordt het gedaan en welk beleid ligt er aan ten grondslag, hoe gaat immobilisatie met cement in zijn werk en wat voor toepassingen zijn er voor de op deze wijze verkregen immobilisaten?**

Afvalstoffen vormen een steeds groter probleem voor onze samenleving. Uit de krant kennen we allemaal de problemen met vervuilde baggerspecie, verontreinigde grond en het storten van gevaarlijk afval. Hoe gaan we in Nederland met deze afvalproblematiek om? Het beleid van de Nederlandse overheid is erop gericht om de totale hoeveelheid te storten afvalstoffen te verminderen of de afvalstoffen zo te bewerken dat ze minder schadelijk zijn voor het milieu. Verschillende bedrijven zijn op deze ontwikkeling ingesprongen en hebben technieken ontwikkeld om verontreinigingen in afvalstoffen op microschaal (deeltjesniveau) duurzaam in te pakken (foto 1). De verzamelnaam voor deze technieken is immobilisatie. De op deze wijze gevormde materialen, immobilisaten genoemd, kunnen onder meer worden toegepast in ophogin-

gen, als wegfundering of als geluidswal. Een andere ontwikkeling is de toepassing van de immobilisaten als toeslagmateriaal in asfalt en beton. Een afvalstof kan zo een bouwstof worden. Daarmee daalt het te



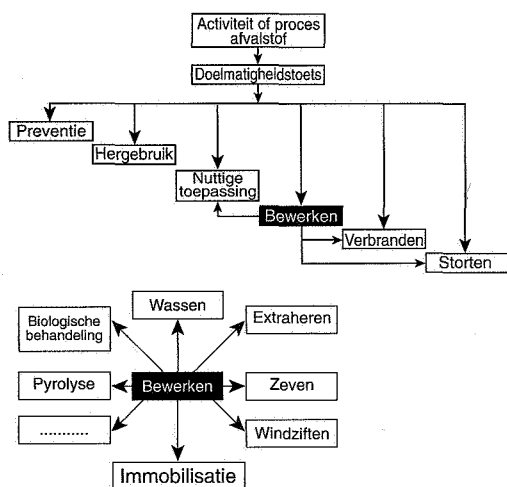
1 Het proces van immobilisatie.

storten volume aan afvalstoffen en zijn minder primaire grondstoffen nodig. Ook is het door middel van immobilisatie mogelijk om van een gevaarlijke afvalstof een minder gevaarlijke afvalstof te maken. Het grote voordeel is dat dit minder gevaarlijke afval gestort mag worden op een gewone stortplaats. De storkosten zijn hier een stuk lager dan op de speciaal voor gevaarlijk afval ingerichte stortplaatsen.

Afvalstoffenbeleid

Minder afval naar de stortplaats en meer afvalstoffen hergebruiken als grondstof is één van de speerpunten van het Nederlandse milieubeleid. Een belangrijk instrument daarbij is de zogenoemde 'Ladder van Lansink' (fig. 2). Met het milieu als uitgangspunt geeft deze ladder de voorkeursvolgorde voor de verschillende verwerkingsmethoden van afvalstoffen en verontreinigde grond. Deze volgorde (in afnemende voorkeur) is:

1. Preventie.
2. Hergebruik.
3. Nuttige toepassing.
4. Bewerken.
5. Verbranden.
6. Storten.



2 Stroomschema op basis van de Ladder van Lansink. De optie 'bewerken' kan bestaan uit immobilisatie

Immobilisatie

Bij immobilisatie worden de eigenschappen van de afvalstof chemisch en/of fysisch gewijzigd. De milieuverontreinigende stoffen worden als het ware op microschaal ingepakt en vastgelegd.

Definitie:

Immobilisatie is een technologische bewerking waarbij de fysische en/of chemische eigenschappen van een afvalstof zodanig worden gewijzigd, dat de verspreiding van milieuverontreinigende stoffen door uitloging, erosie of verstuiving op korte en lange termijn beduidend vermindert.

Technieken

De bestaande immobilisatietechnieken kunnen we in vier hoofdgroepen indelen:

1. Thermisch immobilisatie.
2. Chemische fixatie.
3. Immobilisatie met organische bindmiddelen.
4. Immobilisatie met anorganische bindmiddelen, met cement als belangrijkste bindmiddel.

Immobilisatie kan een bijdrage leveren aan de doelstellingen van het milieubeleid door afvalstoffen te bewerken tot een nuttige toepassing in de vorm van een bouwstof. En, als dit niet kan, de te storten afvalstof te bewerken tot een minder schadelijke afvalstof.

Regelgeving

Er is geen aparte regelgeving voor immobilisaten. Indien ze nuttig kunnen worden toegepast als bouwstof vallen ze onder het Bouwstoffenbesluit (zie Betoniek 10.19). In het geval dat het immobilisaat wordt gestort, zijn het 'stortbesluit' uit de Wet Bodembescherming en het Besluit Aanwijzing Gevaarlijke Afvalstoffen (BAGA) uit de Wet Milieubeheer van toepassing.

Bouwstoffenbesluit

Het Bouwstoffenbesluit bepaalt of een steenachtig materiaal, zoals een immobilisaat, als bouwstof in een buitensituatie mag worden toegepast. Het besluit heeft tot doel bij gebruik van primaire en secundaire bouwstoffen de bodem en het oppervlaktewater te beschermen tegen verontreinigingen. Hiervoor zijn eisen vastgelegd voor de maximale

toelaatbare bodembelasting ten gevolge van milieuverontreinigende stoffen uit een bouwstof. De mate waarin milieuverontreinigende stoffen uit de bouwstof kunnen komen (uitloging), wordt bepaald aan de hand van laboratoriumproeven. De totale hoeveelheid verontreiniging die op termijn in de bodem of het oppervlaktewater terechtkomt, wordt op basis van deze uitloogproeven berekend. Voor de uitloging van organische stoffen zijn de testmethoden nog in ontwikkeling. Daarom worden nu nog strenge eisen gesteld aan de concentraties organische stoffen, zoals PAK's, PCB's en minerale olie, in de bouwstof. Dit zijn de zogenoemde samenstellingseisen.

Immobilisaat als bouwstof

Afhankelijk van het gehalte aan organische stoffen en het uitlooggedrag van anorganische stoffen wordt een bouwstof ingedeeld in categorie 1 of categorie 2. Een categorie-1-bouwstof voldoet zowel aan de samenstellings- als aan de uitloogeisen. Een immobilisaat dat voldoet aan deze eisen mag zonder aanvullende milieubescherpende maatregelen worden gebruikt als bouwstof. Voldoet een bouwstof wel aan de samenstellingseisen maar niet aan de uitloogeisen, dan is het een categorie-2-bouwstof. Een immobilisaat uit deze categorie, dat wordt gebruikt als bouwstof, moet zowel aan de bovenzijde als aan de zijkant worden voorzien van een isolatie. De aangebrachte isolatie moet tijdens de gebruiksfase regelmatig worden gecontroleerd en bij dreigende tekortkomingen worden verbeterd. Toepassing is alleen toegestaan vanaf een halve meter boven de gemiddelde hoogste grondwaterstand.

Stortbesluit en gevaarlijke afvalstoffen

Het Stortbesluit bepaalt onder meer of een afvalstof in een stortplaats met meer of minder uitgebreide isolatievoorzieningen moet worden gestort. We moeten daarvoor eerst weten of we met een gevaarlijke afvalstof te maken hebben. In het Besluit Aanwijzing Gevaarlijke Afvalstoffen (BAGA) wordt op basis van de samenstelling beoordeeld of een afvalstof tot de categorie 'gevaarlijk' moet worden gerekend. Om te kijken op wat voor soort stortplaats deze afvalstoffen gestort mogen worden, moet het uitlooggedrag worden bepaald.

Vervolgens wordt aan de hand van de zogenoemde 'Grenswaarde Notitie Gevaarlijk Afval' de 'gevaar-categorie' van het afval bepaald. De Notitie onderscheidt: zeer gevaarlijk afval (C1-afvalstoffen), gevaarlijk afval (C2-afvalstoffen) en minder gevaarlijk afval (C3-afvalstoffen). Nederland heeft geen stort- en verwerkingsmogelijkheden voor de zwaarste soort gevaarlijk afval, de C1-afvalstoffen. Deze worden afgevoerd naar speciale stortplaatsen in het buitenland. Voor C2-afvalstoffen beschikt Nederland over één stortplaats. Dit is een overdekte betonnen bak op de Maasvlakte. De opslagcapaciteit van deze betonnen bak is eindig en er is besloten om er geen nieuwe bij te bouwen. Voor het storten van C3-afvalstoffen, de minst gevaarlijke soort, is nog voldoende stortcapaciteit beschikbaar.

Immobilisaat als afvalstof

Als een nuttige toepassing niet mogelijk is, moet het immobilisaat worden gestort. De beoordeling van het immobilisaat vindt plaats op basis van een uitloogproef. Op basis van de meetresultaten van deze proef wordt het immobilisaat ingedeeld in één van de afvalstofcategorieën. Bij verschillende immobilisatietechnieken zijn bindmiddelen of andere toevoegingen nodig. Deze zorgen ervoor dat de totale massa en vaak ook het uiteindelijke volume toenemen. Bij het storten is dit een ongewenst effect. Er is daarom een eis gesteld aan de volumetoe name. Deze mag ten gevolge van immobilisatie met maximaal 25% toenemen. Bovendien is er in verband met de stabiliteit van de stort een minimale sterkte van het immobilisaat vereist van 0,5 tot 1 N/mm².

Kosten en opbrengsten

De stortkosten van afvalstoffen zijn de afgelopen jaren gestaag gestegen. Het storten van C2-afvalstoffen kost inmiddels 600 tot 800 gulden per ton. Voor C3-afvalstoffen moet een bedrag van 100 tot 200 gulden per ton worden betaald. Een immobilisaat dat voldoet aan de eisen van een categorie-2-bouwstof heeft een negatieve prijs van 20 tot 30 gulden per ton. De aanbieder moet dus nog bijbetalen om dit immobilisaat als bouwstof te laten verwerken. Alleen een immobilisaat dat voldoet aan de eisen van een categorie-1-bouwstof heeft

een positieve prijs. Dit materiaal levert per ton ongeveer 0 tot 10 gulden per ton op. Er is dus een duidelijke financiële prikkel om gevaarlijke C2-afvalstoffen te bewerken tot minder gevaarlijke C3-afvalstoffen. En op dezelfde wijze wordt het bewerken van afvalstoffen tot categorie -1- of -2-bouwstoffen gestimuleerd. Er kan vanuit worden gegaan dat de overheid de storttarieven verder zal verhogen om het gekozen afvalstoffenbeleid kracht bij te zetten. De kosten en opbrengsten zijn slechts indicatief, maar geven wel een reëel beeld van de huidige situatie.

Immobilisatie met cement

Een immobilisatietechniek met toekomst is het inpakken op microschaal van de verontreinigingen met behulp van cement.

Deze immobilisatietechniek sluit bijna naadloos aan bij het dagelijkse werk van de betontechnoloog. Hij is niet alleen specialist in het mengen van cement met andere grondstoffen, maar weet als geen ander ook hoe je met de juiste keuze van de water-cementfactor, de cementsoort en verwerkbaarheid, een cementsteen kunt maken met een heel dichte poriënstructuur. Een dergelijke cementsteen pakt verontreinigingen op microschaal in en laat ze heel moeilijk weer los.

Cement is een anorganisch bindmiddel. Door een afvalstof te mengen met cement en water ontstaat een nieuw materiaal, een zogenoemd immobilisaat. Laten we dit materiaal eens nader bekijken. In het immobilisaat zijn de verontreinigingen uit de afvalstof ingepakt in de cementsteen, het reactieproduct van cement en water. De eigenschappen van deze cementsteen bepalen onder meer het uitloggedrag van het immobilisaat.

De vermindering van de uitloging van milieuverontreinigende stoffen uit een immobilisaat met als bindmiddel cement berust op drie mechanismen:

- vastleggen van metalen in de vorm van slecht oplosbare verbindingen;
- inkapselen in de cementgel;
- opsluiten in het capillaire poriënsysteem.

Vastleggen van metalen in de vorm van slecht oplosbare verbindingen

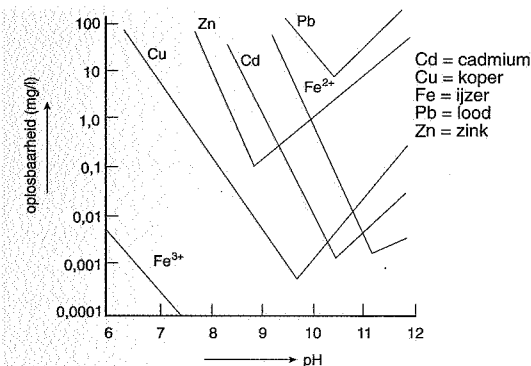
Als zware metalen in contact komen en reageren met carbonaten, sulfaten, sulfiden en hydroxiden ontstaan slecht oplosbare verbindingen. Deze verbindingen slaan neer in het poriënsysteem van de cementsteen. Op deze wijze worden de zware metalen geïmmobiliseerd en kunnen minder gemakkelijk uitlogen. Het water in de poriën van de cementsteen bevat naast hydroxiden ook sulfaten en carbonaten. Bij de toepassing van een hoogoven-cement komen er ook sulfiden in het poriewater voor. In het poriewater heerst op het eerste oog dus een ideale situatie om zware metalen vast te leggen in de vorm van slecht oplosbare verbindingen (voor voorbeeld zie kader 'Corrosie wapening').

Corrosie wapening

Het neerslaan van metalen is geen nieuw fenomeen voor de betontechnoloog. Wanneer wapeningsstaal in contact komt met water kunnen watermoleculen ijzerionen loswrikken. In het poriewater zijn de ijzerionen slechts een kort leven beschoren. Ze reageren direct met de hydroxiden en slaan neer als ijzerhydroxide. Daarna vormt zich na de afsplitsing van water een laagje 'roest'. In een chloridearm, alkalisch milieu is dit laagje uiterst dicht. Dit dichte laagje, dat bestaat uit Fe_2O_3 , verhindert dat ijzerionen het staal verlaten. We noemen het staal dat door dit oxidehuidje beschermd wordt, 'gepassiveerd'. Het proces heet passivering. Komen er voldoende chloridenionen in de buurt van de wapening dan wordt deze passivering doorbroken en ontstaat ijzerchloride. Deze verbinding is goed oplosbaar en het gevormde ijzerchloride kan relatief gemakkelijk door het poriënsysteem bewegen. In figuur 3 is duidelijk te zien dat bij een pH hoger dan 7,5 de oplosbaarheid van Fe^{3+} te verwaarlozen is. Bij een lagere pH neemt de oplosbaarheid van Fe^{3+} snel toe. Betontechnologen zeggen dat ten gevolge van de carbonatatie bij een pH lager dan 8 de passivering van de wapening wordt doorbroken.

Veel zware metalen, zoals tin en lood, vertonen echter een amfooteer gedrag. Dit betekent dat er één pH-waarde is waarbij de oplosbaarheid van het metaal in het poriewater het kleinst is. Bij deze pH wordt het metaal het beste geïmmobiliseerd. Zowel bij een hogere als een lagere pH zal de oplosbaarheid van het metaal toenemen (fig. 3). De pH van het poriewater in cementgebonden producten ligt tussen de

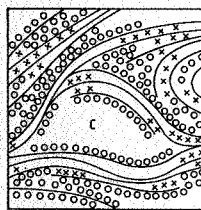
12,5 en 13,5. Weliswaar zien we dat bij een pH hoger dan 9 à 11 de oplosbaarheid van zware metalen weer toeneemt. Uit uitloogproeven blijkt echter dat deze metalen toch heel goed met cement zijn te immobiliseren. Er zijn dus nog andere mechanismen die deze metalen in de cementsteen vastleggen.



3 Oplosbaarheid van metalen als functie van de pH. Te zien is dat de oplosbaarheid van bijvoorbeeld koper (Cu) tussen pH 10 en pH 6,5 met een factor honderdduizend (10^5) toeneemt.

Inkapselen in de cementgel

Zodra het cement met water in aanraking komt, start de hydratatie. Het water en het cement vormen hydraten. Dit zijn vezeltjes met een diameter kleiner dan $1 \mu\text{m}$ (10^{-6} m) en een lengte die vele malen groter is. De vezeltjes bestaan uit heel dunne, strak opgerolde plaatjes calciumsilicaathydraat. Denk hierbij aan een rol aluminiumfolie van zeer kleine afmeting (fig. 4). De afstand tussen de plaatjes calciumsilicaathydraat ligt tussen de 0 en 2 nm (10^{-9} m). De afmeting is in de orde van grootte van een watermolecuul. Al deze kleine vezeltjes hebben te zamen een enorm groot inwendig oppervlak. Vergelijken we het eens met cement. Als we 1 kg cement nemen en het oppervlak van alle cementkorreltjes bij elkaar optellen dan varieert het totale oppervlak afhankelijk van cementsoort en -type tussen 250 en 600 m^2 . De calciumsilicaathydraten die ontstaan tijdens de hydratatie van cement en water hebben een oppervlak van $20.000 \text{ m}^2/\text{kg}$. Dit is ongeveer gelijk aan twee voetbalvelden. We noemen een materiaal met een dergelijke structuur een gel. Zware metalen worden als het ware in deze gel vastgebakken en ingekapseld.

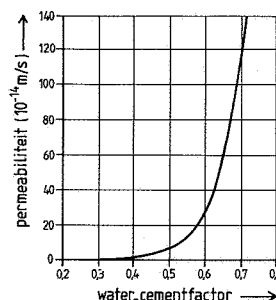


x water in tussenvlaag
o geadsorbeerd water
≡ opgerolde CSH-deeltjes
C capillaire porie

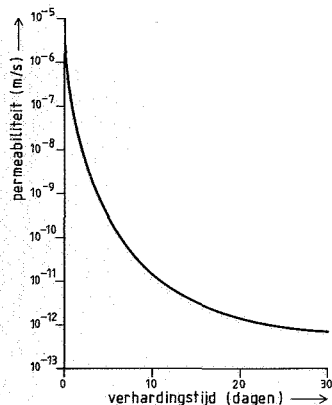
4 Doorsnede van cementsteen.

Opsluiten in het capillaire poriënsysteem

Cementsteen bevat poriën in alle maten en vormen. Ze variëren van dunne, waterhoudende laagjes tussen de plaatjes cementhydraten, via kronkelende nauwe paadjes tussen de hydraatvezeltjes door, naar de wijdere capillaire poriën. Deze capillaire poriën vormen een aaneengesloten systeem van kanaaltjes. Ze vormen een weg tussen het inwendige van het immobilisaat naar het oppervlak. Door dit capillaire poriënsysteem is transport van schadelijke stoffen naar buiten mogelijk. De grootte en de hoeveelheid van de capillaire poriën bepalen de permeabiliteit. Beide grootheden zijn afhankelijk van de water-cementfactor (fig. 5), hydratatiegraad (fig. 6), maar ook van de toegepaste cementsoort. Bij gelijke water-cementfactor heeft de gevormde cementsteen bij een hoogovencement op termijn een veel dichtere poriënstructuur dan bij gebruik van portlandcement. Bij de juiste keuze van water-cementfactor, uithardingstijd en cementsoort kan een dichte poriënstructuur worden verkregen. In deze structuur kunnen schadelijke stoffen slechts zeer langzaam uit het immobilisaat treden.



5 Verband tussen permeabiliteit en water-cementfactor.



6 Verband tussen permeabiliteit en verhardingstijd ($wcf = 0,7$)

Additieven en speciale bindmiddelen

Meestal worden cementen conform NEN 3550 gebruikt. Voor het optimaliseren van het immobilisatieproces kunnen hulpstoffen, vulstoffen en/of andere additieven worden toegevoegd. Deze zijn soms nodig om de mengbaarheid respectievelijk de verwerkbaarheid te verbeteren of om specifieke milieuonvriendelijke componenten, zoals PAK's, in het immobilisaat vast te leggen. Er bestaan ook hydraulische bindmiddelen die op 'maat' gemaakt zijn. Ze worden speciaal voor de klant gemaakt en afgestemd op de afvalstof die moet worden geïmmobiliseerd.

Van afvalstof tot immobilisaat

Bij het bewerken van afvalstoffen met cement tot een immobilisaat kunnen we de volgende processtappen onderscheiden (fig. 7):

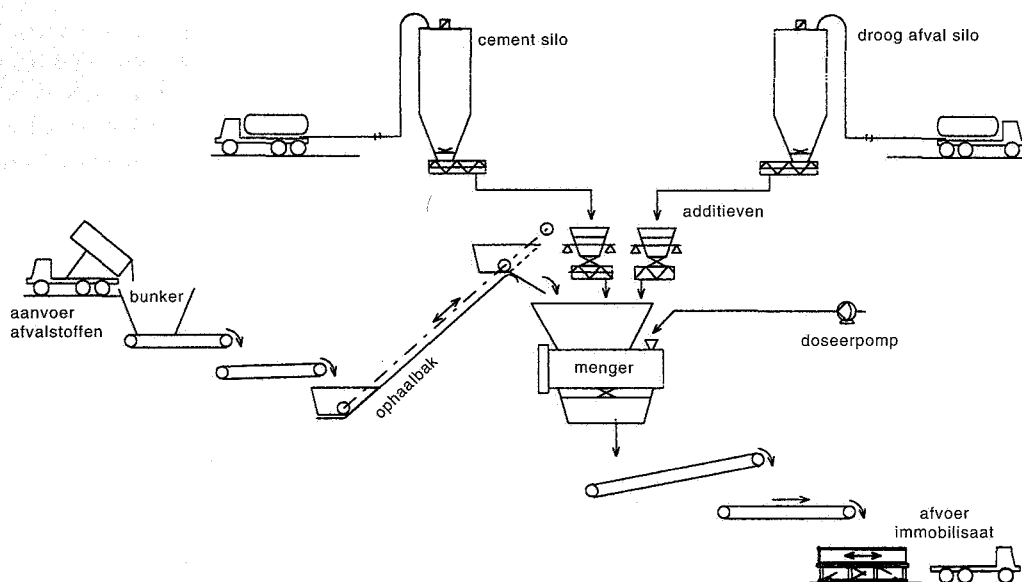
- voorbereken;
- doseren en mengen;
- Omwerken tot een volume en vorm waarin het mengsel verhardt.

Vorbewerken

Soms is het noodzakelijk om een afvalstof te ontwateren of er primaire bouwgrondstoffen, zoals zand en klei, uit te verwijderen. Hiervoor bestaan diverse scheidingstechnieken. Verder zijn er reinigingstechnieken, zoals het wassen van vliegassen van vuilverbrandingsinstallaties of sorteerzeefzand. Dit wordt gedaan om verontreinigingen als zouten en sulfaten uit de afvalstof te verwijderen. Een andere methode is het vooraf thermisch reinigen van met organische stoffen verontreinigde grond.

Doseren en mengen

Na de eventuele voorbereiking kan de resterende afvalstof samen met het cement en de eventuele additieven en hulpstoffen worden gedoseerd aan de menger. Hierop volgt het mengen van de verschillende stoffen. Het mengsel heeft in het algemeen

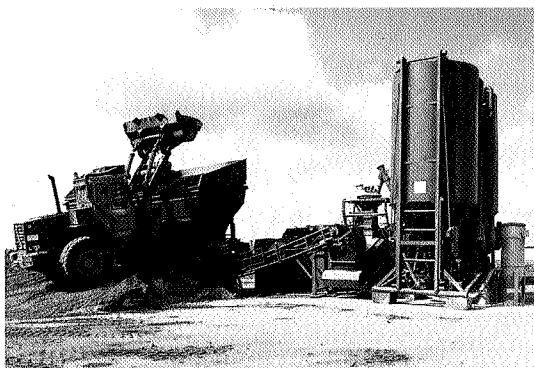


7 Schematische weergave van het immobilisatieproces.

een andere korrelverdeling en maximale korrelafmeting dan beton- of mortelspecie. Hiermee moet rekening worden gehouden bij de keuze van mengter, mengtijd en mengvolgorde van de verschillende componenten.

Omwerken tot een volume en vorm waarin het mengsel verhardt

Deze vorm is bijvoorbeeld een granulaat of een stabilisatielaag. Voor zo'n stabilisatielaag wordt het mengsel uitgereden en onder profiel gebracht met een grader en verdicht met behulp van bijvoorbeeld een wals.



8 Voorbeeld van een 'mixed in plant-proces'. Foto Cityview Fotografie, Rotterdam

Naast het hierboven beschreven 'mixed in plant' proces (foto 8) is het ook mogelijk de immobilisaten 'mixed in place' te vervaardigen. Hierbij wordt het cement ter plaatse op of in de grond gebracht en homogeen gemengd. De beheersbaarheid van het proces en de controleerbaarheid van het eindproduct verdienen bij deze methode speciale aandacht.

Voorbeelden van toepassingen

Bewerken van C2- tot C3-afvalstof

Op de Maasvlakte staat een installatie waar sinds 1998 C2-afvalstoffen met cement en één of meerdere additieven worden geïmmobiliseerd. De installatie bestaat uit twee productielijnen. In de eerste wordt steekvast afval, zoals slibben, verwerkt. De tweede productielijn is geschikt om droge afvalstoffen te verwerken. Er is inmiddels zoveel kennis aan-

wezig dat de volgende afvalstoffen worden geïmmobiliseerd:

- stoffen uit verbrandingsprocessen, zoals AVI-vliegas, rookgasreinigingsresiduen en slakken;
- pigment- en staalslibben;
- grondreinigingsresiduen;
- niet-reinigbaar staalgrit.

De tot immobilisaat verwerkte afvalstoffen worden gestort in een C3-stortplaats op de Maasvlakte.

Bewerken van een sulfaathoudend sorteerzand tot categorie-1-bouwstof

Jaarlijks komt ruim 300.000 ton sorteerzand vrij bij het bewerken van bouw- en slooafval. Ruim 75% is technisch geschikt als funderingsmateriaal of als grondwal. De meeste partijen mogen echter niet ongebonden worden toegepast omdat ze niet voldoen aan het bouwstoffenbesluit. Onderzoek heeft recentelijk aangetoond dat sulfaathoudend sorteerzand kan worden geïmmobiliseerd tot een categorie-1-bouwstof. Tevens wordt aan alle eisen (druksterkte, korrelopbouw, verdichtingsgraad) voldaan, die aan een funderingslaag in de wegenbouw worden gesteld. Om dit te bereiken, is een bindmiddel op basis van portlandcementklinker ontwikkeld dat de sulfaten chemisch bindt.

Bewerken van met PAK's verontreinigde afvalstoffen

Ook met PAK's verontreinigde grond en baggerspecie kunnen op een verantwoorde wijze worden geïmmobiliseerd. Hiervoor is een additief ontwikkeld dat aan cement kan worden toegevoegd. Dit additief zorgt ervoor dat PAK's zo worden vastgelegd dat de uitloging ervan nihil is. Helaas hanteert het Bouwstoffenbesluit voor organische stoffen de samenstellingsgrenswaarde. Ligt het gehalte aan organische stoffen boven die grenswaarde, dan is het immobilisaat niet vrij toepasbaar. Of deze stoffen wel of niet uitlogen doet er dus niet toe. Dat ze erin zitten is het enige wat telt. In het gunstigste geval kan het dan een categorie-2-bouwstof zijn. Er is momenteel discussie gaande of het Bouwstoffenbesluit op dit punt niet moet worden bijgesteld.

Naast genoemde voorbeelden kunnen ook andere afvalstromen worden geïmmobiliseerd met cement.

Tot slot

Het proces van mengen van een afvalstof met cement is relatief eenvoudig. Er kunnen zowel natte slurries als droge afvalstoffen met cement worden geïmmobiliseerd. Het immobiliseren kan zowel op kleine als op grote schaal worden uitgevoerd. De daarvoor benodigde procesapparatuur, zoals silo's, mengers en verwerkingsapparatuur is op ruime schaal aanwezig. Dit leidt in de praktijk tot lage verwerkingskosten. Daarnaast is er veel kennis beschikbaar vanuit de betontechnologie. Deze kennis moet echter met de nodige zorg worden geïnterpreteerd. Kortom immobilisatie met cement is een perspectiefvolle techniek voor verantwoorde afvalverwerking en staat aan de vooravond van een brede, algemene toepassing.

Literatuur

- Conner, Jesse R., Guide to improving the effectiveness of cement-based stabilization/solidification PCA, Skokie, 1997
- Eijgenraam, ing. S.J., Immobilisatie van afvalstoffen met cement, Cement 2000 nr. 1, p.p. 41 -43.
- Hendriks, prof. dr. ir. Ch. F., Duurzame bouwmaterialen, Aeneas, Best, 1999.
- Leeuwen, ir. J.L.M. van, dr. ir. J.W. Fréney, ir. M. Geense, ir. E. Mulder, GWW moet wennen aan immobilisaten, Land + Water, 4/2000, April 2000, p 32-35
- Souwerbren, ing. C., Betontechnologie (Cement en betonreeks nr. 1), tiende druk, Stichting BetonPrisma, 's-Hertogenbosch 1998
- Wilk, Charles M., Stabilization of heavy met with Portland Cement, Research synopsis, PCA, Skokie, 1997
- Centrum voor Immobilisatie, Gouda, 1997:
 - 1 Immobilisatietechnieken
 - 2 Beoordeling van Immobilisaten
 - 3 Kwaliteitsverklaringen
- Betoniek 10/19: Bouwstoffenbesluit

Beton
Daar maak je 't mee.

Betoniek april 2000

In onze volgende uitgave

Verroest !

Soms ontstaan na verloop van tijd kleine roestplekjes in het betonoppervlak. Op verticale vlakken worden ze al snel extra storend zichtbaar door het uitlopen van roestwater over het betonoppervlak. Dit levert lelijke vlekken die, vooral bij schoon beton nauwelijks acceptabel zijn. Dat het hier uitsluitend om esthetische schade gaat en de duurzaamheid absoluut niet in het geding is, is een schrale troost.

Wat is de oorzaak van deze roestuitbloei? Is het te voorkomen en wat is de beste aanpak om het te verwijderen. De volgende aflevering van **Betoniek** geeft hierop antwoord

Colofon

Betoniek is een praktijkgericht voorlichtingsblad op het gebied van de betontechnologie en verschijnt 10 keer per jaar.

In de redactie zijn vertegenwoordigd:
de Nederlandse cementindustrie, MEBIN, CUR,
vocBETONBOUW en de Bouwdienst Rijkswaterstaat.

Uitgave: ENCI Media
postbus 3532, 5203 DM 's-Hertogenbosch
Redactie: 073 - 640 12 22
Abonnementen: 073 - 640 12 31
Adreswijzigingen per fax: 073 - 640 12 99

Overname van artikelen en illustraties is toegestaan, onder voorwaarde van bronvermelding.

Abonnementsprijzen:
Nederland f 34,- (€ 15,43)
België f 35,- (€ 15,88)
Andere landen f 49,- (€ 22,24)

Abonnementen lopen per kalenderjaar en worden automatisch verlengd, tenzij voor 1 december schriftelijk wordt opgezegd.

ISSN 0166-137x

Nederlands
uitgeversverbond
Groep vaktijdschriften