

32/446(406) 2^e ex

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

**Toepassingsmogelijkheden van vormzand voor de afdichting
van afval- en reststofbergingen**

**D. Boels
G.J. Veerman**

Rapport 406

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1995



isn 912623

- 9 JAN. 1996

REFERAAT

Boels, D., en G.J. Veerman, 1995. *Toepassingsmogelijkheden van vormzand voor de afdichting van afval- en reststofbergingen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 406, 24 blz.; 1 fig.; 5 tab.; 8 ref.

Vormzand is een mengsel van zand en bentoniet, glanskoolvormers en gemalen vetkolen, dat wordt gebruikt in de ijzergieterij. Door het gietproces wordt een fractie van de bentoniet inactief. Een deel van het vormzand wordt uit de kringloop verwijderd en is bruikbaar voor de afdichting van afval- en reststofbergingen. De benodigde bentonietaanvulling wordt aan de hand van de zwelfactor bepaald. Vormzand is goed te verwerken en te verdichten met gangbare werktuigen en werkmethoden. Het gehalte aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) wisselt en moet per geval beoordeeld worden. Functioneel is vormzand gelijkwaardig aan zand-bentonietmengsels in de referentie-afdichtingsconstructies van afval- en reststofbergingen.

Trefwoorden: doorlatendheid, polycyclische aromatische koolwaterstof, verdichting, zwelfactor

ISSN 0927-4499

©1995 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen. Tel.: 0317-474200; telefax: 0317-424812.

DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw 'De Dorschkamp' (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

Inhoud

	blz.
Samenvatting en conclusies	7
1 Inleiding	9
2 Materiaaleisen	11
3 Eigenschappen vormzand	13
3.1 Materiaalbeschrijving	13
3.2 Verdichtingsmogelijkheden	13
3.3 Doorlatendheid	14
3.4 Zwelvermogen en bentonietbalans	17
3.5 Chemische samenstelling	17
3.6 Verwerkbaarheid, veldproef	19
4 Beoordeling vormzand	21
Literatuur	23
Tabellen	
1 Samenstelling vormzand	13
2 Puntproctor waarden van vormzand ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	14
3 Doorlatendheid ($\cdot 10^{-10} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) van vormzand volgens falling head methode, laboratorium SC-DLO, op verschillende dagen na aanvang meting.	16
4 Samenhang tussen dikte afdichtingslaag in bovenafdichtingen en de vereiste doorlatendheid	16
5 PAK-gehaltenes ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ droge stof) in vormzand en de in water oplosbaarheid ($\cdot 10^{-6} \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, 25 °C)	18
Figuur	
Meetopstelling voor de 'falling head' methode	15

Samenvatting en conclusies

Vormzand als reststof bestaat uit een mengsel van zand, bentoniet en enkele residuen van glanskoolvormers, die tijdens het gietproces deels zijn ontleed. Vormzand zal door de gieterijen worden geleverd in gemengde vorm.

In opdracht van de Algemene Vereniging van Nederlandse Gieterijen heeft DLO-Staring Centrum (SC-DLO) vormzand beoordeeld voor gebruik in afdichtingsconstructies voor afval- en reststofbergingen die vallen onder het toepassingsgebied van het Stortbesluit Bodembescherming, 1993 en de daaraan gekoppelde richtlijnen. Gebruik is gemaakt van een onderzoek naar de kwaliteitsborging van vormzand (Levelink, 1995), een onderzoek naar gebruiksmogelijkheden van vormzand tegen het licht van het voorontwerp Bouwstoffenbesluit November 1990 (Intron, 1991), vooronderzoek en onderzoek naar doorlatendheid van vormzand in een proefveld (Intron, 1995), een verslag van een proefveld op de stortplaats 'De Reven' (Grontmij, 1995) en voorts van doorlatendheidsonderzoek aan verschillende typen vormzand op het laboratorium van SC-DLO.

Vormzand verschilt van de gangbare zand-bentonietmengsels omdat het in gemengde vorm wordt aangeboden, waardoor niet alle standaard ingangs- en acceptatiecontroles bruikbaar zijn. De bijmenging van residuen van de glanskoolvormers is een tweede verschil met de gangbare zand-bentoniet mengsels.

Uit het laboratoriumonderzoek is gebleken dat bij een voldoende percentage actieve bentoniet in vormzand, de doorlatendheid overeenkomt met die van zand-bentonietmengsels met 7-8% bentoniet en dus voldoet aan de doorlatendheidseis. Vormzand waarvan de doorlatendheid niet aan de eisen voldoet kan geschikt worden gemaakt door toevoeging van ca. 2% actieve bentoniet (Na-bentoniet).

Op een proefveld is aangetoond dat vormzand mechanisch goed verwerkbaar is en dat een afdichting kan worden gerealiseerd, die aan de eisen voldoet. Voorwaarde is echter wel dat de steunlaag (klankbord bij verdichting) een goede draagkracht heeft. Tijdens de nacontrole is gebleken dat soms nog harde kluiten voorkomen, die een nadelige invloed hebben op de verdichting en dus op de doorlatendheid. In verband met de kans op beschadiging van folie die op de afdichtingslaag wordt gelegd, mogen er in zand-bentonietmengsels en dus ook in vormzand, geen deeltjes voorkomen waarvan de diameter groter is dan 3 mm. Aanbevolen wordt om (harde) kluiten uit het vormzand te verwijderen.

Uit verdichtingsproeven is gebleken dat een voldoende dichtheid kan worden verkregen. Voor praktijktoepassingen dient nog aandacht te worden besteed aan een methode om het (relatief) droge mengsel op het vereiste vochtgehalte te brengen. Het is niet zeker of sproeien en aansluitend frezen een homogeen vochtig materiaal oplevert.

De (grond)mechanische eigenschappen zijn niet onderzocht. Bij toepassing van vormzand in taluds wordt aanbevolen om deze eigenschappen te bepalen en eventueel in het talud terrassen aan te brengen als de stabiliteit ontoereikend is.

De meting van het bentonietgehalte op basis van de methyleenblauw-methode is bruikbaar en komt overeen met de standaardmethode.

Uit het onderzoek naar de samenhang tussen de zogenaamde zwelfactor en het bentoniet gehalte is gebleken dat deze relatie afhangt van het soort vormzand en verder samenhangt met de doorlatendheid. Omdat echter de relatie tussen zwelvermogen van bentoniet en de zwelfactor ontbreekt, mag de zwelfactor niet worden gezien als een maat voor het zwelvermogen van de bentoniet in vormzand. De zwelfactor kan echter wel een goede rol spelen bij de kwaliteitsbeoordeling van vormzand en de vaststelling van het percentage bentoniet dat moet worden toegevoegd om een voldoende lage doorlatendheid te realiseren.

Gebleken is dat de plasticiteitsindex niet kan worden bepaald. Dit zou er op kunnen duiden dat vormzand zich als een bros materiaal gedraagt. Aanbevolen wordt om de invloed van deformatie op de doorlatendheid van vormzand aanvullend te bestuderen.

Het percentage polycyclische aromatische verbindingen (PAK's) in vormzand varieert van 1 tot 15 mg per kg. De bepalingsmethode is echter nog verre van eenduidig, terwijl de spreiding in de bepaling, gelet op het zeer lage gehalte, aanzienlijk is. PAK's behoren tot de immobiele stoffen. Vormzand met PAK's gehalten lager dan 2 mg per kg droge grond kunnen zonder meer worden toegepast. Voorlopig wordt aanbevolen om vormzand met hogere gehalten alleen in bovenafdichtingen toe te passen.

Toepassing van vormzand in afdichtingen van afval- en reststofbergingen vergt relatief grote hoeveelheden. Per hectare bovenafdichtingen is ca. 4400 ton vormzand nodig en voor onderafdichtingen ca. 8800 ton. Dat betekent dat jaarlijks hooguit ca. 10 ha bovenafdichting of 5 ha onderafdichting kan worden aangelegd als het vormzand van alle gieterijen in Nederland wordt gebruikt. Gebruik van vormzand voor dit doel vergt een goed functionerende inzameling, opslag en kwaliteitsborging en tevens een overeenkomst met enkele storteigenaren.

Ook kan worden overwogen om vormzand te gebruiken voor afdichtingsconstructies onder opslagtanks, mestopslagplaatsen, verlaagde wegtracé's, vijvers (mits afgedekt met een laag grond), helofytenfilters (mits afgedekt met een laag grond), tijdelijke opslagplaatsen van verontreinigde grond etc.

Op basis van het onderzoek naar doorlatendheid, verdichtbaarheid, verwerkbaarheid, chemische samenstelling en controleerbaarheid van geleverde kwaliteit kan worden geconcludeerd, dat de functionele eigenschappen van vormzand gelijkwaardig zijn aan die van de gangbare zand-bentonietmengsels.

1 Inleiding

Vormzand wordt door gieterijen in gietvormen gebruikt en bestaat uit een mengsel van zand, bentoniet, gemalen vetkolen, bitumen en harsen ('glanskoolvormers'). Tijdens het gietproces ontlede de koolstofverbindingen onder invloed van de zeer hoge temperaturen en geven een neerslag van fijn verdeelde koolstof op het oppervlak van het gietstuk waardoor dit gemakkelijk te scheiden is van de gietvorm. Omdat de ontleding van de koolstofverbindingen niet volledig is, kunnen polycyclische aromatische verbindingen (PAK's) ontstaan. Na toevoeging van kwartzand, bentoniet en glanskoolvormers wordt een belangrijk deel van het vormzand weer hergebruikt. Het resterend deel werd in het verleden hoofdzakelijk gestort.

Vormzand geldt niet als chemisch afval, zodat het volgens het Nationaal Milieubeleidsplan hergebruikt moet worden. Per ton gegoten ijzer komt 150 tot 400 kg vormzand vrij. In Nederland bedraagt de hoeveelheid af te voeren vormzand jaarlijks ca. 40 000 ton. Afgaande op de samenstelling van vormzand (60-75% kwartzand, 8-12% actieve bentoniet en 3-5% brandbare bestanddelen) lijkt het materiaal geschikt voor toepassing in constructies van bodembeschermende voorzieningen (afdichtingslagen).

In opdracht van de Algemene Vereniging van Nederlandse Gieterijen heeft SC-DLO een laboratoriumonderzoek en een bureaustudie uitgevoerd naar de geschiktheid van vormzand voor het afdichten van afval- en reststofbergingen. Daarbij is gebruik gemaakt van een onderzoek naar de kwaliteitsborging van vormzand (Levelink, 1995), een onderzoek naar gebruiksmogelijkheden van vormzand tegen het licht van het voorontwerp Bouwstoffenbesluit November 1990 (Intron, 1991), vooronderzoek en onderzoek naar doorlatendheid van vormzand in een proefveld (Intron, 1995), een verslag van een proefveld op de stortplaats 'De Reven' (Grontmij, 1995). Op basis van gerefereerd onderzoek en doorlatendheidsmetingen op het laboratorium van SC-DLO, is nagegaan of volgens de 'Richtlijnen onderafdichtingen voor afval- en reststofbergingen' (Staatsblad 55, 20 jan., 1993) vormzand 'minstens gelijkwaardig' is aan mengsels van zand en bentoniet (referentiemateriaal). Gelijkwaardigheid wil zeggen dat een afdichting met vormzand de bodem even goed en even duurzaam beschermt als een afdichting met een mengsel van zand en bentoniet. De vereiste werking van afdichtingslagen is gedefinieerd in de regelgeving.

Het onderzoek is toegespitst op de bruikbaarheid van vormzand in afdichtingen waarop het Stortbesluit en de daaraan gekoppelde regelgeving van toepassing is. Omdat vormzand in feite een mengsel is van zand en bentoniet, is in het onderzoek alleen aandacht besteed aan afwijkingen ten opzichte van de gangbare zand-bentoniet mengsels. De afwijkingen betreffen de bijmenging van residuen van glanskoolvormers en verder de toestand waarin vormzand zal worden aangeboden: als mengsel van zand en bentoniet. De ingangscntrole van vormzand wijkt op onderdelen af van de ingangscntrole die voor zand en bentoniet is voorgeschreven (Hoeks et al., 1991, CUR, 1994). Met name het zwelvermogen van bentoniet kan niet in mengsels worden gemeten. In plaats daarvan is de zwelfactor geïntroduceerd, die een afgeleide

parameter is van het zwelvermogen van bentoniet. Omdat vormzand als mengsel wordt aangeboden en het afkomstig is van verschillende gieterijen, is aandacht besteed aan de kwaliteitsborging door de aanbieders van het materiaal. Onderzoekresultaten dienen voor de geschiktheidsbeoordeling en voor het opstellen van een Protocol voor de toepassing, verwerking, keuring en acceptatie van vormzand.

De eisen waaraan minerale afdichtingsmaterialen moeten voldoen zijn in hoofdstuk 2 beschreven. De materiaaleigenschappen, methoden van onderzoek en onderzoekresultaten zijn beschreven in hoofdstuk 3 en de eindbeoordeling van vormzand is in hoofdstuk 4 gepresenteerd.

2 Materiaaleisen

Minerale materialen voor toepassing in de afdichting van afval- en reststofbergingen moeten minstens gelijkwaardig zijn aan zand-bentonietmengsels. Daartoe moeten relevante eigenschappen voldoen aan een aantal hierna vermelde eisen.

Waterdoorlatendheid

Bovenafdichtingen dienen percolaatvorming tegen te gaan door infiltratie van regen in gestort afval te voorkomen, terwijl onderafdichtingen de emissie van percolaat naar de bodem moet voorkomen. Omdat minerale afdichtingen niet absoluut waterdicht zijn, wordt een minimale doorlatendheid geëist, die op een bepaald moment kan worden gerealiseerd met de als beste bekend staande materialen en technieken. Op dit moment geldt als referentie een 0,25 m dikke zand-bentoniet laag waar doorheen per dag niet meer dan 0,0001 m percoleert. Daarbij wordt aangenomen dat aan de bovenzijde van de laag een waterspanning van 50 mbar en aan de onderzijde een onderdruk van 50 mbar heerst. Afdichtingslagen van andere materialen moeten onder die omstandigheden gelijk of beter scoren. Voor onderafdichtingen geldt een referentie dikte van 0,5 m, waardoorheen jaarlijks minder dan 0,02 m percoleert bij een waterspanning van 50 mbar aan de bovenzijde en 30 mb aan de onderzijde van de afdichtingslaag.

Mechanische stabiliteit

Tijdens het aanbrengen van de afdichtingslaag wordt het materiaal onderworpen aan dynamische belastingen en vervormingen. In taluds van stortplaatsen moet de afschuifweerstand voldoende groot zijn om afschuiving op hellingen tot 1:2 te voorkomen. Als de mechanische eigenschappen geen lange hellingen toelaten, zal er in het ontwerp rekening mee moeten worden gehouden door terrassen in het talud op te nemen.

In droge perioden kan een bovenafdichting gedeeltelijk uitdrogen. Om te voorkomen dat stortgas kan ontsnappen mag het afdichtingsmateriaal wel krimpen bij vochtverlies, maar mag geen lucht in de poriën treden. Bij herbevochtiging moet het wateropnemend vermogen de aanvoer van neerslagoverschot (tijdelijk) overtreffen. Daarbij is zowel de (reversibel) zwelcapaciteit als de zwelsnelheid van belang.

Thermische stabiliteit

Bij aanwezigheid van organisch materiaal in afvalstorten kan de temperatuur tijdelijk oplopen tot 70 °C, waardoor ook de temperatuur in de (onder)afdichtingslagen zal oplopen. Aangenomen wordt dat deze laag enkele jaren een temperatuur van 30-40 °C zal hebben. De eigenschappen van het afdichtingsmateriaal mogen daarbij niet verslechteren.

Chemische stabiliteit

In de teen van de bovenafdekking en in onderafdichtingen komt het materiaal in contact met percolaat uit het stort. Daarbij mag de afdichtende werking niet significant verminderen.

Biologische stabiliteit

In afdichtingslagen kan de toestand zowel aëroob (dun laagje aan de bovenzijde van bovenafdichtingen) als anaëroob zijn. Een aërobe toestand in onderafdichtingen zal niet voorkomen, terwijl dit in bovenafdichtingen waarschijnlijk niet zal optreden zolang geen vocht aan het afdichtingsmateriaal wordt onttrokken als op het poriewater een onderdruk wordt uitgeoefend. Bij het overschrijden van bepaalde drempelwaarden treedt lucht in de poriën en wordt de toestand aëroob. Plantewortels zijn in staat om zulke drempelwaarden te overschrijden. Ingroei van plantewortels wordt in het algemeen voorkomen door een drainlaag met een relatief grote dichtheid (porositeit < 39%). Het milieu voor organismen in een afdichtingslaag laat zich karakteriseren met een zuurgraad met pH tussen 4,5 en 7,0, een temperatuur tussen 15 en 40 °C en een anaërobe toestand.

Procesmatige verwerkbaarheid

Het materiaal mag tijdens het transport, het spreiden en verdichten niet aan de apparaten en werktuigen gaan kleven of kluiten vormen. Omdat het mengsel vaak op een optimaal vochtgehalte wordt gebracht om de vereiste dichtheid te kunnen bereiken, geldt dat het mengsel niet mag kleven of kluiten vormt bij het optimum vochtgehalte. Aan de eis van verwerkbaarheid is in het algemeen voldaan als het vochtgehalte van het te verwerken materiaal onder de uitrolgrens ligt.

Controle op samenstelling

Afhankelijk van de voorwaarden waaronder het materiaal wordt aangeboden is de leverancier verantwoordelijk voor de kwaliteit van het materiaal en het daarmee bereikbaar resultaat. Van de materialen wordt de aard en samenstelling via steekproeven bepaald. Deze controle kan op het werk, tijdens de produktie of het transport van het materiaal worden uitgevoerd. De wijze waarop de kwaliteit kan worden beoordeeld moet in protocollen of anderszins worden vastgelegd.

Milieu belastende componenten, toxiciteit

De afdichtingslaag mag geen uitloogbare componenten bevatten die milieubelastend zijn of een toxische werking hebben op mens en dier.

3 Eigenschappen vormzand

3.1 Materiaalbeschrijving

De samenstelling van vormzand zoals dat door verschillende gieterijen wordt aangeboden, is in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1 Samenstelling vormzand

Component	Percentage
Actieve bentoniet	6- 9,5
Doodgebrand bentoniet (vastgesinterd aan zandkorrels)	10- 15
Doodgebrand bentoniet (losse deeltjes)	1- 3
Glanskoolvormer (actief)	1- 2
Cokesresten	2- 3
Kwartszand	rest
Totaal < 63 μ (incl. bentoniet)	12- 16
Vochtgehalte	1- 3
Gloeiverlies	3- 6
PAK16 (5) (mg/kg)	5- 15

Het gehalte aan PAK is afhankelijk van de soort glanskoolvormer en in het bijzonder van het toegepaste hars type. Het gloeiverlies wordt bepaald door het gehalte actieve glanskoolvormer en cokesresten. Uit onderzoek van Intron, 1995, is gebleken dat de bentoniet uniform is verdeeld in het vormzand. Op grond van bentoniet bepalingen volgens de methyleenblauw methode, werd een standaard deviatie van 4,4% bepaald.

3.2 Verdichtingsmogelijkheden

Het verdichtingsgedrag van het materiaal wordt bepaald door de samenstelling van het materiaal (textuur, gehalte organische substantie etc.), de verdichtings-energie en het vochtgehalte. De maximale dichtheid en het bijhorend optimale vochtgehalte is volgens de Standaard Proctor Proef (Standaard ARW Bepaling, 1990, proef 5.1, DIN 18127) bepaald. Deze dichtheid wordt proctordichtheid genoemd. In de praktijk is gebleken dat deze dichtheid met de in de praktijk van de wegenbouw gebruikelijke methoden kan worden bereikt. De verdichtingseis is ingevoerd om in het werk op eenvoudige wijze te kunnen controleren of de vereiste waterdichtheid is verkregen. Als het materiaal de vereiste samenstelling heeft, hetgeen via controle op het werk wordt vastgesteld, en de aangebrachte laag de dichtheid heeft waarbij in het vooronderzoek een voldoende lage doorlatendheid werd verkregen, dan is een betrouwbare indicatie verkregen dat in het werk ook de vereiste lage doorlatendheid is gerealiseerd.

De proctorproef is met een geautomatiseerde standaard apparaat uitgevoerd. Het te testen materiaal wordt verdicht in een cilinder met behulp van een vrij vallende stamper in 3 lagen van 0.04 m met 25 slagen per laag. De slagen worden gelijkmatig

over het monster oppervlakte verdeeld. Het monster wordt vlak afgesneden waarna het nat volumegewicht via weging wordt bepaald. Daarna wordt de inhoud van de cilinder gedurende 24 uur bij 105 °C gedroogd, waarna het gewicht opnieuw wordt bepaald. Hieruit wordt het droogvolumegewicht en het vochtgehalte (gew.%) berekend. De proef wordt herhaald bij verschillende vochtgehaltes. De resultaten worden grafisch weergegeven (de Proctorcurve). Uit de grafiek wordt de maximale (proctor)dichtheid en het bijbehorend vochtgehalte afgelezen.

Afdichtingsmateriaal met toeslag moet volgens de richtlijnen minstens verdicht kunnen worden tot een droogvolumegewicht van 1700 kg.m⁻³ om een voldoende lage doorlatendheid te realiseren.

Op de geleverde vormzand waaraan de doorlatendheid is bepaald, is een zogenaamde puntproctor test uitgevoerd (Tabel 2). Dit houdt in dat de dichtheid is bepaald die volgens de standaard methode wordt verkregen bij een bepaalde vochtgehalte.

Tabel 2 Puntproctor waarden van vormzand (kg.m⁻³)

Monster	Vochtgehalte (%)	Laboratoriumproctorwaarde
1	12	SC-DLO 1,674 (duplo)
	13	idem 1,703
	14	idem 1,690
2	14	idem 1,705 (triplo)
	3,5	idem 1,530
3	14,4	LUW 1,694
	3,1	SC-DLO 1,528
4	13,6	LUW 1,673 (duplo)

Uit dit onderzoek kan worden geconcludeerd, dat vormzand kan worden verdicht tot de gewenste dichtheid.

3.3 Doorlatendheid

De verzadigde waterdoorlatendheid van vormzand is in het laboratorium bepaald met behulp van de falling head methode (Hoeks et al., 1990). Daartoe wordt een monster in een roestvrij stalen ring gebracht en in de meetopstelling (Figuur) ingebouwd. Het monster heeft een dikte van 0,025 m. Het resterende ringvolume is met gewassen, vochtig duinzand opgevuld. Het monster wordt van onderen af verzadigd. Voor de meting wordt het hele meetsysteem met water gevuld, zodat water vanuit de stijgbuis door het monster naar het uitstroompunt kan stromen. De hoeveelheid instromend water wordt met behulp van de verplaatsing van de meniscus in het stijgbuisje afgelezen. Ter controle wordt de uitgestroomde hoeveelheid opgevangen. De doorlatendheid (K) wordt berekend volgens:

$$K = (a * d / A * \Delta t) * \ln(h(1) / h(2)) \quad (1)$$

hierin is:

K	= doorlatendheid	$(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
$h(1)$	= waterniveau in het stijgbuis op tijdstip $t(1)$	(m)
$h(2)$	= waterniveau in het stijgbuis op tijdstip $t(2)$	(m)
Δt	= $t(2) - t(1)$	(s)
A	= oppervlakte doorsnede monster	(m^2)
a	= oppervlakte doorsnede stijgbuis	(m^2)
d	= de dikte monster	(m)

De gemiddelde gradiënt (i) gedurende het tijdsinterval, Δt , wordt berekend volgens:

$$i = ((h(1) - h(2))/d) / \ln (h(1)/h(2)) \quad (2)$$

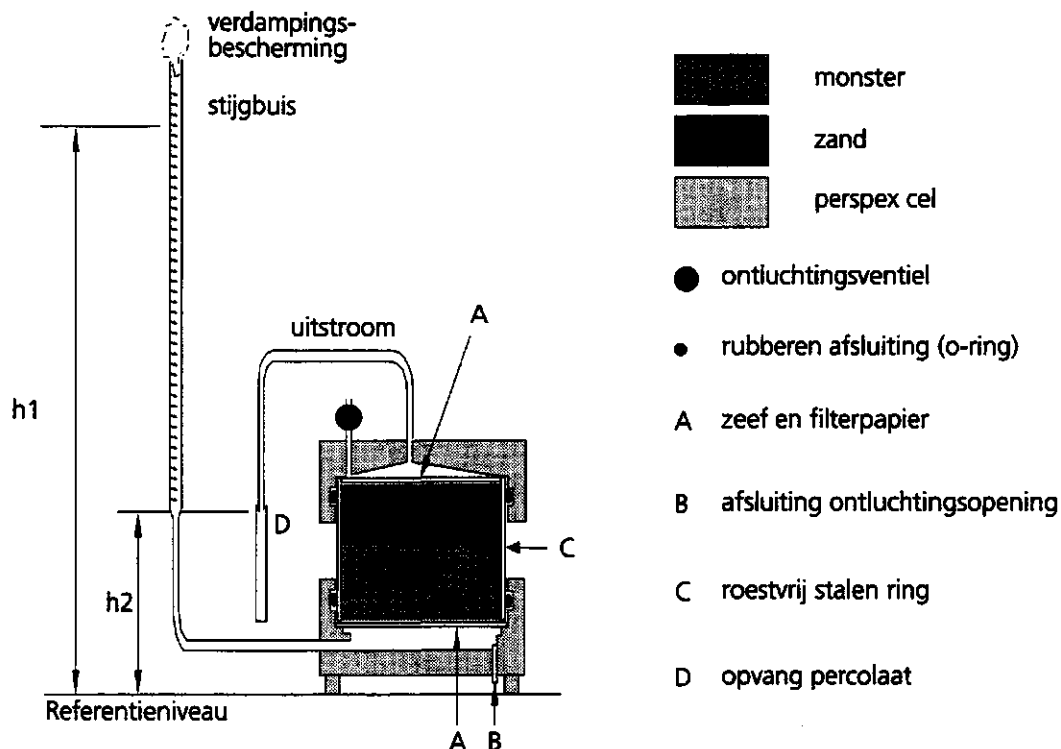


Fig. Meetopstelling voor de 'falling head' methode

De doorlatendheid is op het laboratorium van SC-DLO bepaald aan monsters van verschillende, bij de opdrachtgever bekende gieterijen. In dit rapport worden alleen de codes gebruikt. Als testvloeistof is kraanwater gebruikt. De resultaten staan vermeld in tabel 3 Het verloop van de doorlatendheid is gevolgd gedurende 140 dagen.

Uit tabel 3 blijkt dat vanaf ca. 100 meetdagen de doorlatendheid niet significant verandert. Uitgaande van de eis die aan zand-bentoniet mengsels in afdichtingslagen wordt gesteld, moet de doorlatendheid volgens de ontwerpcriteria geringer zijn dan $2,3 \cdot 10^{-10} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Indien de doorlatendheid hoger is dan deze waarde, kan worden besloten om een dikkere laag aan te brengen of om bentoniet bij te mengen om de vereiste lage doorlatendheid te krijgen. In tabel 4 is een overzicht gegeven van de

samenhang tussen de dikte van de afdichtingslaag in een bovenafdichting en de doorlatendheid die moet worden gerealiseerd.

Tabel 3 Doorlatendheid (10⁻¹⁰ m.s⁻¹) van vormzand volgens falling head methode, laboratorium SC-DLO, op verschillende dagen na aanvang meting.*

Monster	Dichtheid (kg.m ⁻³)	60	70	80	90	100	110	140
1a	1,670	9,5	6,6	6,1	4,3	4,3	4,4	4,4*
1b	1,670	4,8	4,1	3,6	2,9	3,2	3,0	3,1*
1c	1,670	3,3	2,5	1,7	1,7	1,5	1,5	1,4
2a	1,670	4,2	2,7	2,6	2,5	2,4	2,2	2,3*
2b	1,670	3,3	3,1	2,6	2,7	2,5	2,4	2,4*
3a	1,670	2,8	1,2	1,1	1,0	0,9	1,0	1,0
3b	1,670	2,2	1,4	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9
4a	1,670	2,9	2,9	2,3	2,1	1,8	1,8	1,8
4b	1,670	5,3	4,0	3,1	2,6	2,4	2,3	2,2*
5a	1,670	3,1	2,7	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0
5b	1,670	3,0	2,6	1,3	1,2	1,0	1,0	0,9
6a	1,670	4,2	3,2	2,7	2,3	2,2	1,9	1,9
6b	1,610	4,4	3,3	2,9	2,7	2,4	2,3	2,3*
7a	1,670	4,1	3,0	2,6	2,2	2,2	2,0	2,0
7b	1,610	3,5	2,8	2,4	2,2	2,1	1,9	1,8
8a	1,670	2,9	2,1	1,6	1,5	1,5	1,5	1,3
8b	1,610	2,8	1,6	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
9a	1,670	2,8	1,8	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8
9b	1,610	2,6	1,7	1,2	1,2	1,0	0,9	1,0

Tabel 4 Samenhang tussen dikte afdichtingslaag in bovenafdichtingen en de vereiste doorlatendheid

Laagdikte (m)	Doorlatendheid (* 10 ⁻¹⁰ m.s ⁻¹)
0,10	1,05
0,20	1,93
0,25	2,31
0,30	2,67
0,35	3,00
0,40	3,31
0,50	3,86
0,75	4,96
1,00	5,79

Uit tabel 3 blijkt dat de doorlatendheid van de monsters 1,2,4 en 6 niet of amper voldoen aan de minimum eis. Voor toepassing in de praktijk zal bentoniet bijmenging nodig zijn. Daarbij moet ook rekening worden gehouden met een eventuele meetduur van de doorlatendheid in de na-controle. Als deze duur beperkt blijft tot bijvoorbeeld 50 tot 60 dagen, dan zal bentoniet moeten worden toegevoegd aan rest vormzand van elke gieterij. In de protocollen voor gebruik en controle van vormzand zal hiermee rekening moeten worden gehouden.

3.4 Zwelvermogen en bentoniet balans

De zwelcapaciteit van bentoniet in vormzand kan niet met de Enslin methode worden bepaald. Daarom is een alternatieve methode ontwikkeld door Levelink, 1994, om aan de hand van de zogenaamde zwelfactor de activiteit van bentoniet in het mengsel te bepalen. De zwelfactor wordt bepaald aan een cilindervormig monster, die met 12% water volgens een standaard verdichtingsmethode is aangemaakt. Van de grondcilinder wordt de splijtsterkte bepaald en uitgedrukt in de zwelfactor (=splijtsterkte gedeeld door het splijtoppervlak). Naarmate de zwelcapaciteit van bentoniet stijgt, neemt de viscositeit van de water/bentoniet pasta die zich tussen de zandkorrels bevond, toe en wordt een hogere splijtsterkte gemeten. Voorwaarde voor deze proef is dat de bentoniet homogeen verdeeld is en dat bij een standaard vochtgehalte wordt gemeten.

Op basis van de samenhang tussen zwelfactor, bentoniet gehalte en doorlatendheid is een vergelijking opgesteld voor de bentonietbalans (Levelink, 1994). Deze balans geeft aan hoeveel het bentoniet gehalte afwijkt van het gewenste gehalte. Deze afwijking (de 'bentoniet balans') wordt berekend met:

$$B_{z,D} = \frac{Z - Z_r}{0,8} + \frac{D - D_r}{sg - D_r} B - \frac{0,004 (D - D_r)}{0,8} \quad (3)$$

Hierin is:

- $B_{z,D}$ = afwijking bentonietgehalte tgv. zwelfactor en dichtheid (%)
- B = bentonietgehalte referentie materiaal (%)
- Z_r = zwelfactor referentie materiaal (N.cm^{-2})
- Z = zwelfactor monster (N.cm^{-2})
- D_r = droogvolume gewicht referentie materiaal (kg.m^{-3})
- D = droogvolume gewicht monster (kg.m^{-3})
- 0,8 = toename zwelfactor per % bentoniet
- 0,004 = toename zwelfactor per kg.m^{-3} dichtheidstoename

Gebleken is dat als er een bentoniet tekort ('negatieve bentoniet balans) bestaat de eerste procent aanvulling nog geen effect heeft op de doorlatendheid. Veiligheidshalve wordt geadviseerd om in dergelijke gevallen 1,5% meer bentoniet toe te voegen dan op grond van de bentoniet balans wordt berekend. Als referentie zwelfactor is $2,0 \text{ N.cm}^{-2}$ aangehouden, als referentiedichtheid 1665 kg.m^{-3} en het referentie gehalte bentoniet (B) is 8%. Partijen vormzand van verschillende gieterijen kunnen worden gekarakteriseerd aan de hand van de bentoniet balans. Deze zal niet veranderen zolang het productieproces niet veranderd.

3.5 Chemische samenstelling

Tijdens het gietproces lopen de temperaturen in het vormzand zo hoog op, dat de glanskoolvormers (vaste koolwaterstoffen) ontleden tot zuivere koolstof en PAK's. Het gehalte aan PAK is nauw gerelateerd aan de hoeveelheid gebruikte glanskool-

vormer en het type hars dat in de gietkernen is verwerkt. Van het vormzand, dat werd gebruikt in de veldproef zijn de gehalten aan PAK's bepaald door Ubachs, 1995. De gehalten en de oplosbaarheid staan in tabel 5

Tabel 5 PAK-gehaltenes (mg.kg^{-1} droge stof) in vormzand en de in water oplosbaarheid ($\cdot 10^{-6}$ mg.l^{-1} , 25 °C)

PAK	Vormzand	Oplosbaarheid
naftaleen	1,4	31700
fenantreen	0,24	1000
antraceen	<0,10	45
fluorantheen	0,26	206
benzo(a)antraceen	<0,10	9,4
chryseen	0,10	1,8
benzo(k)fluorantheen	<0,10	0,8
benzo(a)pyreen	<0,10	1,6
benzo(g,h,i)peryleen	<0,10	0,7
indeno(1,2,3-cd)pyreen	<0,10	0,2

De milieurisico's van toxische verbindingen worden bepaald door de mobiliteit van die stoffen en de afstand tot de bedreigde bron. In de bodem worden stoffen verplaatst in opgeloste vorm via de grondwater stroom. Stoffen die aan de bodembestanddelen absorberen verplaatsen zich aanzienlijk langzamer dan de verplaatsingssnelheid van de grondwater stroom. De verhouding tussen de verplaatsingssnelheid van water en de opgeloste stof wordt aangeduid met de retardatie factor en is gedefinieerd als:

$$R_{\text{stof}} = 1 + K_p \cdot \rho / \theta \quad (4)$$

hierin is:

ρ = droogvolume gewicht (kg.dm^{-3})

θ = volume vochtfractie ($\text{dm}^3.\text{dm}^{-3}$)

De verdelingscoëfficiënt is gedefinieerd als:

$$K_p = C_{\text{grond}} / C_{\text{water}} \quad (5)$$

hierin is:

C_{grond} = concentratie in grond (mg/kg)

C_{water} = concentratie in water (mg/l)

Voor organische stoffen is een semi-empirische benadering mogelijk, die is gebaseerd op hydrofobe sorptietheoriën (Lagas et al., 1990). Voor niet-dissocieerbare organische verbindingen kan de distributiecoëfficiënt worden benaderd met:

$$K_p = 10^{4,45} f_{oc} S^{-0,67} \quad (6)$$

Hierin is:

f_{oc} = fractie organische koolstof in de grond (-)

S = oplosbaarheid van stof in water bij heersende pH en 20° C (mg/l)

In tabel 5 is voor verschillende PAK's de oplosbaarheid in water gegeven. De retardatiefactor van naftaleen in een afdichtingslaag van vormzand is ca. 1400. Bij infiltratiesnelheid van 20 mm per jaar door de afdichtingslaag van vormzand, verplaats naftaleen zich met een snelheid van 0,033 mm per jaar. Hieruit volgt dat de best in water oplosbare PAK een uiterst geringe verplaatsingssnelheid in de bodem heeft. Toegepast in afdichtingsconstructies, vormen de aanwezige PAK's wegens de uiterst geringe verplaatsingssnelheid geen risico voor het milieu.

3.6 Verwerkbaarheid, veldproef

De verwerkbaarheid van vormzand is op een proefveld op de stortplaats 'De Reven' te Azewijn, getoetst. Daarbij is gelet op de verwerkbaarheid op praktijkschaal (aanleg bovenafdichting) en de mate waarin de aangelegde afdichtingslaag voldoet aan eisen als dikte van de laag, dichtheid en waterdoorlatendheid (Grontmij, 1995). Tevens is het PAK-gehalte bepaald.

Het vormzand voor het veldexperiment is per vrachtwagen aangevoerd en op de geprofileerde steunlaag met een shovel gespreid en verdicht. Vooraf aan de verdichting is met een waterdoseerwagen water toegevoegd, dat met een mengfrees door het vormzand is verdeeld. Daarna werd de laag verdicht. In het proefveld was ook een talud (helling 1 : 3) opgenomen.

Geconcludeerd is:

- dat vormzand met de gangbare technieken kan worden vervoerd, gespreid en verdicht;
- dat de gerealiseerde verdichting aan de eisen voldoet;
- dat de doorlatendheid op het vlakke deel en de taluds aan de eisen voldoet;
- dat de draagkracht van de steunlaag voldoende moet zijn om een goede verdichting aan te brengen;
- dat er in het vormzand nog resten van gietkernen voorkomen, die doorlatendheids of dichtheids metingen kunnen verstoren;
- dat bij gebruik van vormzand in een combinatie afdichting met folies, gietkernen verwijderd moeten worden;
- dat het gehalte aan PAK's iets boven de streefwaarde uit de Saneringsregeling Wet Bodembescherming ligt, hetgeen geen probleem hoeft op te leveren in bovenafdichtingsconstructies.

4 Beoordeling vormzand

Vormzand verschilt van de gangbare zand bentoniet mengsels omdat het in gemengde vorm wordt aangeboden, waardoor niet alle standaard ingangs- en acceptatiecontroles bruikbaar zijn. De bijmenging van residuen van de glanskoolvormers is een tweede verschil met de gangbare zand-bentoniet mengsels.

Uit het laboratoriumonderzoek is gebleken dat bij een voldoende percentage actieve bentoniet in vormzand, de doorlatendheid overeenkomt met die van zand-bentoniet-mengsels met 7-8% bentoniet en dus voldoet aan de doorlatendheidseis. Vormzand waarvan de doorlatendheid niet aan de eisen voldoet kan geschikt worden gemaakt door toevoeging van bentoniet (Na-bentoniet).

Op een proefveld is aangetoond dat vormzand mechanisch goed verwerkbaar is en dat een afdichting kan worden gerealiseerd, die aan de eisen voldoet. Voorwaarde is echter wel dat de steunlaag (klankbord bij verdichting) een goede draagkracht heeft. Tijdens de nacontrole is gebleken dat soms nog harde kluiten voorkomen, die een nadelige invloed hebben op de verdichting en dus op de doorlatendheid. In verband met de kans op beschadiging van folie die op de afdichtingslaag wordt gelegd, mogen er in zand-bentoniet mengsels en dus ook in vormzand, geen deeltjes voorkomen waarvan de diameter groter is dan 3 mm. Aanbevolen wordt om (harde) kluiten uit het vormzand te verwijderen.

Uit verdichtingsproeven is gebleken dat een voldoende dichtheid kan worden verkregen. Voor praktijk toepassingen dient nog aandacht te worden besteed aan een methode om het (relatief) droge mengsel op het vereiste vochtgehalte te brengen. Het is niet zeker of sproeien en aansluitend frezen een homogeen vochtig materiaal oplevert.

De (grond)mechanische eigenschappen zijn niet onderzocht. Bij toepassing van vormzand in taluds wordt aanbevolen om deze eigenschappen te bepalen en eventueel in het talud terrassen aan te brengen als de stabiliteit ontoereikend is. Het ontwerp van zo'n oplossing dient gebaseerd te zijn op grondmechanisch onderzoek.

De meting van het bentonietgehalte op basis van de methyleenblauw methode is bruikbaar en komt overeen met de standaard methode.

Uit het onderzoek naar de samenhang tussen de zogenaamde zwelfactor en het bentoniet gehalte is gebleken dat deze relatie afhangt van het soort vormzand en de doorlatendheid. Omdat de relatie tussen zwelvermogen van bentoniet en de zwelfactor ontbreekt, mag de zwelfactor niet worden gezien als een maat voor het zwelvermogen van bentoniet in vormzand.

De zwelfactor kan echter wel een belangrijke rol spelen bij de kwaliteitsbeoordeling van vormzand en de vaststelling van het percentage bentoniet dat moet worden toegevoegd om een voldoende lage doorlatendheid te realiseren.

Gebleken is dat de plasticiteitsindex niet kan worden bepaald. Dit zou er op kunnen duiden dat vormzand zich als een bros materiaal gedraagt. Aanbevolen wordt om de invloed van deformatie op de doorlatendheid van vormzand aanvullend te bestuderen.

Het percentage PAK's in vormzand varieert van 1 tot 15 mg per kg. De bepalingmethode is echter nog verre van eenduidig, terwijl de spreiding in de bepaling, gelet op het zeer laag gehalte, aanzienlijk is. PAK's behoren tot de immobiele stoffen. Vormzand met PAK's gehalten lager dan 2 mg per kg droge grond kunnen zonder meer worden toegepast. Voorlopig wordt aanbevolen om vormzand met hogere gehalten alleen in bovenafdichtingen toe te passen.

Toepassing van vormzand in afdichtingen van afval- en reststofbergingen vergt relatief grote hoeveelheden. Per hectare bovenafdichtingen is ca. 4400 ton vormzand nodig en voor onderafdichtingen ca. 8800 ton. Dat betekent dat jaarlijks hooguit ca. 10 ha bovenafdichting of 5 ha onderafdichting kan worden aangelegd met het vormzand van alle gieterijen in Nederland. Deze toepassing vergt een goed functionerende inzameling, opslag en kwaliteitsborging en tevens een overeenkomst met enkele storteigenaren.

Ook kan worden overwogen om vormzand te gebruiken voor afdichtingsconstructies onder opslagtanks, mestopslagplaatsen, verlaagde wegtracé's, vijvers (mits afgedekt met een laag grond), helofytenfilters (mits afgedekt met een laag grond), tijdelijke opslagplaatsen van verontreinigde grond etc.

Samenvattend kan worden geconcludeerd, dat de functionele eigenschappen van vormzand overeenkomen met die van de ganbare zand-bentoniet mengsels voor de afdichting van afval- en reststof bergingen. Als zodanig is vormzand hieraan gelijkwaardig.

Literatuur

CUR, 1994. *Granulaire afdichtingslagen op basis van zandbentoniet; Achtergronden bij CUR-Aanbeveling 33*. Gouda, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en regelgeving, Rapport 94-1.

Hoeks, J., H.P. Oosterom, D. Boels, J.F.M. Borsten, K. Strijbis & W. ter Hoeven, 1990. *Richtlijnen voor ontwerp en constructie van eindafdichtingen van afval- en reststofbergingen*. Rapport 91, Staring Centrum Wageningen.

Lagas, P., H. Snelting en R. van den Berg, 1990. *Verspreiding van stoffen bij bodemverontreiniging*. Bilthoven, RIVM, Rapport nr. 725201002.

Niet-gepubliceerde bronnen

GRONTMIJ, 1995. *Aanleg proefveld stortplaats 'De Reven' te Azewijn*. De Bilt, Grontmij, Documentnummer 8368.bwt/MJ

INTRON, 1991. *Positie Kleigebonden vormzand afkomstig van gieterijen ten opzichte van het voorontwerp Bouwstoffenbesluit november, 1990*. Sittard, ONTRON, rapportnummer 91086.

Levelink, G.H., 1995. *Kwaliteitsborging van afdichtingsmateriaal uit kleigebonden vormzand*. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van de Algemene Vereniging van Nederlandse Gieterijen, Zoetermeer.

Onstenk, H.J.C.M., 1992. *Toetsing concept CUR-Aanbeveling 'Granulaire afdichtingslagen' bovenafdichting Collendoorn*. Sittard, INTRON, rapport 92384

Ubachs, W. 1995. INTRON Meetrapport MR95131 IFe (13 pag.)