

ONDERZOEK NAAR DE PRAKTISCHE UITVOERBAARHEID VAN BOVENAFDICHTING
OP AFVALSTORTTERREINEN

Deelrapport 2

ERVARINGEN EN MENINGEN OMTRENT
BOVENAFDICHTING OP GROND VAN
LITERATUURONDERZOEK

J. Hoeks en A.H. Ryhiner



INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING ICW

Wageningen, maart 1985

2 OKT. 1985

I N H O U D

	Blz.
VOORWOORD	
1. INLEIDING	1
2. FUNCTIES VAN DE AFDEKLAAG	2
3. SELECTIE VAN AFDICHTINGSMATERIALEN	4
3.1. Algemene eisen	4
3.2. Natuurlijke afdichtingsmaterialen	5
3.3. Synthetische materialen	10
4. SELECTIE VAN AFDEKGROND EN DRAINAGESYSTEEM	12
4.1. Algemene eisen	12
4.2. Afdekgrond	13
4.3. Drainerende zandlaag en drainagesysteem	14
5. CONSTRUCTIE VAN DE AFDEKLAAG IN DE PRAKTIJK	16
5.1. Funderingslaag	16
5.2. Afdichtingslaag	16
5.2.1. Klei of leem	16
5.2.2. Bentoniet-grondmengsels	17
5.2.3. Synthetische produkten	19
5.3. Afdekgrond	21
5.4. Drainagesysteem	22
5.5. Speciale constructies aan de voet van de helling	23
5.6. Speciale constructies in verband met gasvorming	24
5.7. Inzaaien en beplanten	25
6. CONTROLE OP LEKKAGES	26
7. CONCLUSIES	27
LITERATUUR	29

1. INLEIDING

Infiltratie van regenwater in een afvalstort kan in principe worden tegengegaan door het stort af te dekken met een waterdichte laag. Uit eerder onderzoek is gebleken dat de doorlatendheid van dergelijke afdichtingslagen kleiner dan $0,05 \text{ mm.dag}^{-1}$ ($\approx 5 \times 10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$) moet zijn, als men de infiltratie wil beperken tot minder dan 50 mm.jaar^{-1} zie (HOEKS en AGELINK, 1982).

Met klei- en leemsoorten, zoals deze in Nederland voorhanden zijn, is het mogelijk om afdichtingslagen aan te brengen met een doorlatendheid in de orde van $0,5\text{-}2,0 \text{ mm.dag}^{-1}$ ($\approx 5\text{-}20 \times 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$). Dit is echter niet afdoende, want de lekkage door een dergelijke laag ligt in de orde van $200\text{-}300 \text{ mm.jaar}^{-1}$. Door zeer sterke verdichting onder relatief natte omstandigheden is het misschien mogelijk nog lagere doorlatendheden te bereiken, bijvoorbeeld tot $0,2 \text{ mm.dag}^{-1}$ waardoor de lekkage afneemt tot $100 \text{ à } 150 \text{ mm.jaar}^{-1}$. Een verdere reductie van de infiltratie lijkt met de in Nederland beschikbare klei- en leemsoorten niet haalbaar.

Doorlatendheden kleiner dan $0,05 \text{ mm.dag}^{-1}$ kunnen wel bereikt worden met behulp van sterk zwellende montmorilloniet-kleiën. Op enkele plaatsen in de USA en ook in Europa worden deze montmorilloniet-kleiën in zeer zuivere vorm aangetroffen. Onder de naam 'bentoniet' worden ze in de handel gebracht en onder andere gebruikt voor bodemafdichtingen. Door grond te mengen met bentoniet wordt een mengsel verkregen dat vrijwel geen water doorlaat. De afdichting berust op binding van het water aan de bentonietdeeltjes. Het waterbindend vermogen van de bentoniet neemt toe met de Na-bezetting aan het adsorptiecomplex. Door uitwisseling van Na tegen Ca loopt het waterbindend vermogen aanzienlijk terug.

Behalve deze natuurlijke materialen kunnen ook kunststofprodukten, zoals diverse plastic folies en asfaltmembranen, worden gebruikt als afdichtingsmateriaal. De doorlatendheid van dergelijke materialen is zo klein dat lekkage van water te verwaarlozen is. Als er lekkage optreedt, dan zal dit voornamelijk via de lassen plaatsvinden. Het is daarom van groot belang dat de lassen bij de aanleg nauwkeurig worden getest op lektheid. Voor bovenafdichtingen moet het materiaal, inclusief de lassen, bestand zijn tegen onregelmatige zettingen. De chemische bestendigheid van het materiaal, welke bij onderafdichtingen een belangrijk punt is, speelt hier slechts een ondergeschikte rol.

Door TNO is uitvoerig onderzoek verricht naar de bruikbaarheid van kunststoffolies en bitumenlagen voor afdichtingen in het kader van bodembescherming (DER KINDEREN, 1984).

Ter bescherming van de afdichtingslaag wordt deze afgedekt met een laag afdekgrond met daarin een drainagesysteem. De bovengrond moet bestaan uit een humeuze, goed bewortelbare grond om een geschikte bewortelingslaag voor de vegetatie te krijgen. De totale dikte van deze afdeklaag zou ongeveer 80-100 cm moeten bedragen (zie HOEKS en AGELINK, 1982).

Dit rapport beschrijft de resultaten van een literatuurstudie naar praktisch toepasbare afdichtingsmaterialen. Gezien de doelstelling van het onderzoek is in de eerste plaats gekeken naar geschikte materialen voor bovenafdichting en de eisen ten aanzien van afdichtingsmateriaal, afdekgrond en drainagesysteem. Aangezien echter aanzienlijk meer informatie beschikbaar is met betrekking tot basisafdichtingen, zijn deze gegevens ook in het onderzoek betrokken voor zover van belang voor bovenafdichting.

2. FUNCTIES VAN DE AFDEKLAAG

Het begrip 'afdeklaag' wordt hier gedefinieerd als het geheel van grondlagen en eventueel afdichtingslagen (kunststoffolies, bentoniet-klei) waarmee een afvalstort na beëindiging van de stortactiviteiten wordt afgedekt. Het begrip 'afdichtingslaag' wordt uitsluitend gebruikt voor die lagen in de afdeklaag, die tot doel hebben om de infiltratie van regenwater in het stort geheel of ten dele te verhinderen.

Op grond van esthetische overwegingen is minimaal een afdekking met grond vereist om het wegwaaien van papier en plastic te voorkomen. De enige eis die daarbij gesteld wordt, is dat de afdeklaag zo dik moet zijn dat ook na zetting geen afval aan het maaiveld zichtbaar is. Ook om redenen van volksgezondheid is een dergelijke afdekking gewenst, zodat brandgevaarlijke situaties en stankoverlast worden voorkomen en vogels, ratten en ander ongedierte worden geweerd.

De functies van de afdeklaag zijn uitvoerig beschreven door LUTTON et al (1979). Behalve de reeds genoemde functies kunnen nog worden vermeld:

- het bieden van een standplaats voor de vegetatie;
- het creëren van een geschikte ondergrond in verband met de herinrichting van de storplaats, bijvoorbeeld voor speel- en ligweiden, beplanting met bos, aanleg van wegen, wandel- of ruiterspaden, eventuele bebouwing (kleedruimten, toiletgebouwen, manege, etc.), tennisbanen, skihellingen, crossbanen, golfbanen, e.a.;
- het beheersen van de infiltratie van regenwater in het stort;
- het beheersen van de afvoer van stortgas om schade aan de vegetatie te vermijden en eventueel winning en gebruik van het stortgas mogelijk te maken.

Deze laatste functies zijn alleen te realiseren als zeer specifieke eisen worden gesteld aan de afdekgrond. Een goede standplaats voor de vegetatie vereist een laagdikte van 80-100 cm, bij zeer diep wortelende bomen of stuiken mogelijk nog dikker. De grond moet goed bewortelbaar zijn en voldoende vocht kunnen vasthouden. De hoeveelheid beschikbaar vocht (tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt) moet 100-150 mm zijn om ernstige verdroging in de zomerperiode te voorkomen. De infiltratiecapaciteit van de afdekgrond moet tenminste 50 cm.dag^{-1} bedragen volgens HOEKS en AGELINK (1982) om een goede ontwatering te realiseren met geringe kans op oppervlakte-afvoer en erosie.

De uiteindelijke bestemming van een afgewerkte stortplaats kan soms zeer specifieke eisen stellen aan de afdeklaag. In feite zou reeds bij de eerste planvorming rond een in te richten stortterrein rekening moeten worden gehouden met de uiteindelijke bestemming, aangezien de vorm van het stort (hoogte, hellingen) aangepast moet zijn aan deze bestemming.

In deze nota wordt vooral aandacht besteed aan het effect van een afdeklaag op de infiltratie van regenwater in het stort. Voor een effectieve reductie van deze infiltratie is het noodzakelijk dat onder de afdeklaag een min of meer waterdichte laag wordt aangebracht. Boven deze afdichtingslaag moet een drainagesysteem aanwezig zijn om wateroverlast te voorkomen. De afdekgrond dient in dit geval de afdichtingslaag te beschermen tegen onder andere uitdroging, mechanische beschadiging, grote temperatuurschommelingen en beschadiging door wortels en bodemdieren. Wat dit laatste betreft wordt door LUTTON (1982) aanbevolen de afdichtingslaag af te dekken met een laag humusarm zand met weinig cohesie tussen de korrels, zodat bodemdieren en knaagdieren

hierin geen gangen kunnen graven. Nader onderzoek naar dit aspect lijkt gewenst, te meer daar op hellingen de kans op afschuiving toeneemt bij gebruik van cohesieloos zand (zie HEIDEMIJ, 1985).

Met afdichtingslagen is ook de ongecontroleerde migratie van stortgas via de afdeklaag te beteugelen. Uiteraard gaat de gasproductie in het afvalstort gewoon door. Daarom zal bij bovenafdichting een gasventilatie- of gasonttrekkingssysteem moeten worden aangelegd, zodat het gas kan ontsnappen in de atmosfeer of kan worden opgevangen en gebruikt voor energiedoeleinden.

Bij afwezigheid van afdichtingslagen wordt de gasdoorlatendheid van de afdeklaag in hoofdzaak bepaald door de structuur en het vochtgehalte van de afdekgrond. Aangezien de productie doorgaat zal het gas ergens, vooral op de beter doorlatende plaatsen, een uitweg zoeken naar de atmosfeer. In de praktijk blijkt dit vooral op de hellingen aanleiding te geven tot schade aan de vegetatie. Soms ontwijkt het gas via de ondergrond en komt in de bodem naast het stort terecht (vooral bij stortplaatsen in diepe zandafgravingen), waardoor schade buiten het stortterrein kan optreden. Bij ophoping van gas onder gebouwen kunnen zeer gevaarlijke situaties ontstaan (explosiegevaar).

Voor zeer uitvoerige informatie betreffende de functies van de afdeklaag en de te stellen eisen wordt hier verwezen naar LUTTON et al (1979) en LUTTON (1982).

3. SELECTIE VAN AFDICHTINGSMATERIALEN

3.1. Algemene eisen

Afdichtingslagen, of ze nu op of onder het stort zijn aangebracht, hebben tot doel de infiltratie van water zoveel mogelijk te verhinderen. Dit betekent dat ze moeten voldoen aan bepaalde eisen met betrekking tot de waterdichtheid. Voor een basisafdichting stelt de overheid als eis dat de afdichtingslaag in het geheel geen percolatiewater mag doorlaten. Op grond van onderzoek van HOEKS en AGELINK (1982) is de verwachting dat natuurlijke materialen, hoewel ze in principe niet aan dit criterium kunnen voldoen, deze eis wel dicht benaderen als de doorlatendheid kleiner is dan $1 \times 10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$. Synthetische afdichtingsmaterialen voldoen doorgaans wel aan dit criterium.

Voor bovenafdichtingen geeft de overheid wel adviezen maar geen dwingende eisen ten aanzien van de waterdoorlatendheid tenzij de aard van het afval volledige afdichting noodzakelijk maakt. Een belangrijke reductie van de infiltratie van regenwater in het stort is alleen haalbaar als de doorlatendheid van de afdichtingslaag kleiner is dan $1 \times 10^{-9} \text{ m.s.}^{-1}$, en liever nog kleiner dan $5 \times 10^{-10} \text{ m.s.}^{-1}$. Overigens moet men bij het bepalen van de doorlatendheid in het laboratorium rekening houden met het feit dat bij dergelijk lage doorlatendheden de Wet van Darcy niet meer opgaat (zie par. 3.2).

De bestendigheid van bovenafdichtingen tegen chemische aantasting is van minder belang dan bij basisafdichtingen, die in contact komen met het percolatiewater uit het afvalstort (aantasting door organische verbindingen en anorganische zouten).

Zeer belangrijk bij bovenafdichtingen is de bestendigheid van het afdichtingsmateriaal tegen grote en onregelmatige zettingen. Bovendien moet de afdichtingslaag bestand zijn (of beschermd worden) tegen mechanische beschadiging door plantenwortels en bodemdieren.

Voor een overzicht van verschillende bodembeschermingsconstructies kan hier tevens worden verwezen naar FREDERIKS en HEINIS (1984).

3.2. Natuurlijke afdichtingsmaterialen

Zoals reeds eerder door HOEKS en AGELINK (1982) is aangetoond voldoen de in Nederland voorkomende leem- en kleisoorten niet als afdichtingsmateriaal op een stortplaats. Bij optimale verdichting onder de daarvoor benodigde vochtcondities ligt de laagst bereikbare doorlatendheid in de orde van $2-5 \times 10^{-9} \text{ m.s.}^{-1}$. Afgezien van het feit of een dergelijke verdichting realiseerbaar is op een stortplaats, blijft ook dan nog de lekkage in de orde van 150 mm.jaar^{-1} .

Om nog lagere doorlatendheden te bereiken moet men de grond mengen met produkten als cement, bitumen, bentoniet, waterglas, bepaalde chemicaliën of mogelijke afvalstoffen als vliegashuis of boorgruis. In het laatste geval dient men echter tevens de milieuhygiënische consequenties in beschouwing te nemen.

De doorlatendheid van natuurlijke afdichtingsmaterialen moet vooraf in het laboratorium worden bepaald. Vanwege de geringe doorlatendheid wordt daarbij vaak met grote gradiënten ($i = 25 \text{ à } 75$) gewerkt (zie GLAS, 1984). Een probleem is echter dat bij deze lage doorlatendheden

de Wet van Darcy niet meer opgaat (SCHMITT, 1983). Dit betekent dat de gemeten doorlatendheid geen constante is, maar afhankelijk is van de aangelegde drukgradiënt.

GÖDECKE (1980) heeft op theoretische gronden aangetoond dat de flux van water door een grondmonster exponentieel toeneemt met de gradiënt. Pas boven een bepaalde grenswaarde (i_G) neemt de flux volgens Darcy lineair toe met de gradiënt (zie fig. 1).

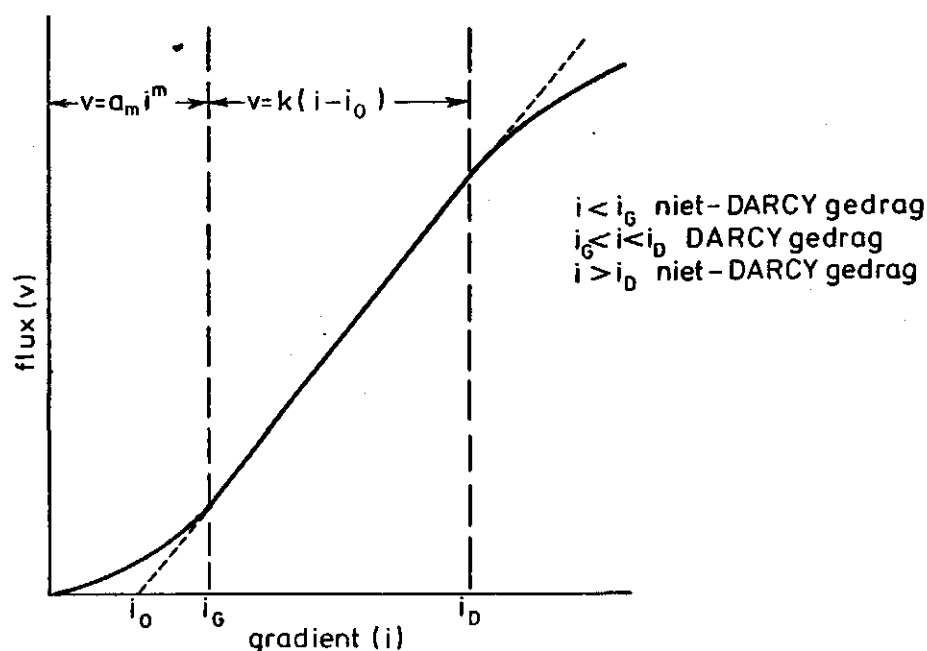


Fig. 1. Schematische voorstelling van de relatie tussen de waterflux (v) en de aangelegde gradiënt (i). De waterstroming voldoet niet aan de Wet van Darcy bij lage gradiënten (wegens binding van watermoleculen en bij hoge gradiënten (wegens turbulentie)

In zware kleigronden zou deze grenswaarde i_G zelfs in de orde van ca. 100 liggen.

Het niet-Darcy gedrag houdt verband met de krachten waarmee de watermoleculen worden gebonden in capillairen en aan negatief geladen kleioppervlakken (zie ook GLAS, 1984). GÖDECKE (1980) geeft een uitvoerige beschrijving van het verschijnsel en heeft op grond van theoretische beschouwingen formules afgeleid voor de mathematische beschrijving van de niet-Darcy stroming in capillairen.

In het laboratorium wordt de doorlatendheid doorgaans gemeten en berekend volgens de Darcy-vergelijking. Betreft het echter niet-Darcy stroming dan is uit de beschouwingen van Gödecke af te leiden dat de fluxen in het veld (v_{veld}) en de gemeten fluxen in het laboratorium

(v_{lab}) zich in het niet-Darcy traject verhouden als:

$$v_{veld} = v_{lab} \left(\frac{i_{veld}}{i_{lab}} \right)^m$$

De waarde voor m varieert van 1 voor goed doorlatende gronden ($i_G = 0$, dus normale Darcy-stroming) tot ca. 2 à 3 voor zeer slecht doorlatende gronden (i_G groot, niet-Darcy stroming).

Dat dit effect van groot belang is moge blijken uit een rekenvoorbeeld: stel, de doorlatendheid in het laboratorium is gemeten bij $i = 50$ terwijl in het veld slechts een gradiënt van maximaal $i = 5$ optreedt, dan is de flux in het veld 10 à 100 keer lager ($m = 2$ à 3) dan op grond van de Wet van Darcy mocht worden verwacht.

Voor de praktische toepassing van natuurlijke afdichtingsmaterialen betekent dit, dat de doorlatendheid in het laboratorium moet worden gemeten bij de gradiënten zoals die in het veld voorkomen ($i = 1$ à 5). Zo mogelijk zou ook de relatie tussen flux en gradiënt experimenteel moeten worden vastgesteld.

In de literatuur wordt bij het opgeven van doorlatendheden zelden aandacht aan dit niet-Darcy gedrag geschonken en de bijbehorende gradiënt wordt dan ook meestal niet vermeld. Zo lang de metingen zijn uitgevoerd bij gradiënten die vergelijkbaar zijn met de veldsituatie hoeft dit echter niet tot problemen te leiden.

LUTTON et al. (1979) en HEIDEMIJ (1981) geven meerdere mogelijkheden aan hoe grond ondoorlatend gemaakt kan worden door bijmenging van allerlei produkten. Enkele voorbeelden zullen hier nader worden besproken.

Menging met cement leidt tot doorlatendheden in de orde van $5 - 100 \times 10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$ bij een cementgehalte van 10 vol.% in het mengsel. In de meeste gevallen blijft de doorlatendheid dus te hoog. Bovendien is het mengsel door verharding moeilijk vervormbaar en breekt vrij gemakkelijk bij onregelmatige zettingen. Deze methode is daarom niet geschikt voor bovenafdichtingen. Omdat cement niet bestand is tegen een groot aantal chemische verbindingen zijn zand-cement mengsels evenmin geschikt voor basisafdichtingen.

Een soortgelijk produkt wordt verkregen na menging met vliegas.

Dank zij de puzzelane eigenschappen van vlieg-as wordt met bijmenging van een kleine hoeveelheid kalk of portland cement een verharding verkregen. De doorlatendheid van het gecementeerde produkt kan een factor 10^3 lager liggen dan het hierbij gebruikte zand. Dit is vooral een gevolg van de dan ontstane korrelgrootteverdeling (menging van fijn en grof materiaal). Overigens heeft dit produkt dezelfde bezwaren als het zand-cement mengsel, dat wil zeggen de doorlatendheid is nog te groot, het produkt is niet bestand tegen zettingen en het wordt aangetast door chemische stoffen.

Zand-bitumen mengsels zijn minder kwetsbaar in geval van zettingen en de waterdoorlatendheid is waarschijnlijk geringer dan bij de zand-cement mengsels. Ze lijken daarom geschikt voor bovenafdicthtingen. De bitumen kan overigens wel aangetast worden door chemische stoffen (b.v. organische oplosmiddelen), waardoor deze mengsels minder geschikt kunnen zijn voor basisafdicthtingen.

Zand-bentoniet mengsels blijken zowel in laboratoriumproeven als in praktijktoepassingen een goede afdicthting te geven. Afhankelijk van de granulaire samenstelling van het zand en de soort bentoniet kan het bentonietgehalte in het mengsel variëren van 5 tot 15 gew.%. De doorlatendheid van het mengsel ligt dan meestal beneden $5 \times 10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$. Het materiaal is elastisch en is goed in staat om enige zetting op te vangen. Althans zolang de laagdikte niet te duns is en de bentoniet in het mengsel nog zwelcapaciteit over heeft. In verband hiermee is het wenselijk om meer bentoniet te gebruiken dan op basis van het zwelvermogen strikt genomen nodig zou zijn om het water in de poriën tussen de zandkorrels te binden. Het zwelvermogen van enkele bentonietsoorten is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Het zwelvermogen van enkele bentonietsoorten

Bentonietsoort	Zwelvermogen ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O/g}$)
Wyoming bentoniet	9-12
Geaktiveerde bentoniet (met Na behandeld)	6- 9
Europese bentoniet	2- 4

Bij bovenafdichtingen speelt de chemische bestendigheid een ondergeschikte rol. Eén aspect verdient echter aandacht, althans wanneer het natuurlijke afdichtingsmaterialen betreft. De zwelcapaciteit van kleimineralen (b.v. bentoniet) kan sterk teruglopen als de Na-ionen aan het adsorptiecomplex worden omgewisseld tegen Ca-ionen. Het gebruik van kalkhoudende afdekgrond moet daarom worden ontraden. Natuurlijke afdichtingsmaterialen, waarvan de afdichting berust op de swelling van kleimineralen, worden minder geschikt geacht voor basisafdichtingen omdat de doorlatendheid geleidelijk zou kunnen toenemen onder invloed van de hoge zoutconcentraties in het percolatiewater. Overigens kan bij zand-bentoniet mengsels de verminderde swelling waarschijnlijk worden gecompenseerd door meer bentoniet aan het mengsel toe te voegen. Bovendien zijn er bentonietsoorten in de handel, die zijn behandeld met polymeren om de uitwisseling van ionen tegen te gaan. Volgens LUNDGREN (1981) verhindert dit echter niet dat er toch enige uitwisseling plaats vindt. Hij vermeldt dat de Na-bezetting van Wyoming bentoniet door behandeling met percolatiewater terugliep van 63% naar minder dan 5%. Bij de met polymeren behandelde bentoniet (Volclay SLS-71) liep de Na-bezetting terug van 78% naar 18%. Behalve de mogelijkheid van ionen-omwisseling bestaat er ook kans dat organische oplosmiddelen de kleiafdichtingslaag aantasten (BROWN and ANDERSON, 19 ; ANDERSON et al (1982)).

De zand-bentoniet mengsels lijken goed geschikt voor bovenafdichtingen. Voor basisafdichtingen moet het bentonietgehalte minstens 2-3 x hoger zijn omdat het zwelvermogen van de bentoniet kan afnemen wanneer het in contact komt met percolatiewater (hoge zoutconcentraties, omwisseling van Na tegen andere kationen). Nader onderzoek naar het effect van percolatiewater op de doorlatendheid van zand-bentoniet mengsels is gewenst.

De afdichtende werking van waterglas, dat meestal via injectie in de bodem wordt gebracht, berust op het feit dat de poriën van de grond worden opgevuld met een gelachtig materiaal, waardoor de doorlatendheid sterk afneemt en waarden kan bereiken van 10^{-9} à 10^{-10} m.s⁻¹ (BOGUSH, 1979; STEFFEN, 1979). Waterglas kan, behalve door injectie op grotere diepte, ook in de grond worden gebracht door het in droge poedervorm door de grond te mengen waarna het wordt bevochtigd en verdicht. Waterglas is slecht bestand tegen zuren en basen en wordt daarom

minder geschikt geacht voor afdichtingen onder stortplaatsen (HEIDEMIJ, 1981). Er bestaan geen ervaringen met betrekking tot bovenafdichtingen, maar het lijkt aannemelijk dat een grond-waterglass afdichting niet goed bestand is tegen onregelmatige zettingen, omdat dit produkt geen extra zwelcapaciteit heeft zoals de zand-bentoniet mengsels dit hebben.

3.3. Synthetische materialen

In het voorgaande is al gebleken, dat de doorlatendheid van een afdichtingslaag bijzonder klein moet zijn en dat slechts enkele natuurlijke materialen, meestal met bijmenging van andere produkten, aan het gestelde criterium kunnen voldoen. Het ligt daarom voor de hand dat synthetische produkten, die doorgaans vrijwel waterdicht zijn, op grote schaal zijn en worden toegepast voor bodemafdichtingen. Een belangrijk punt bij de afweging of natuurlijke dan wel synthetische produkten zullen worden gebruikt voor afdichting is, afgezien van de waterdichtheid van het materiaal, het prijsverschil tussen beide. De grote concurrentie op deze markt heeft echter tot gevolg gehad dat de prijzen van alle produkten inclusief de natuurlijke afdichtingsmaterialen momenteel in dezelfde orde van grootte liggen (1984: ca. f 15,- tot f 18,- per m² gelegd). Dit betekent dat nu bij de afweging andere punten, zoals de duurzaamheid van de materialen op lange termijn en de methode volgens welke de afdichtingslaag onder praktijkomstandigheden kan worden aangelegd, een belangrijke rol gaan spelen.

Synthetische afdichtingslagen kunnen worden aangebracht door het afdichtingsmateriaal in vloeibare vorm op de met grond afgedekte stortplaats te spuiten of door in de fabriek geprefabriceerde banen te maken, die in het veld aan elkaar worden gelast.

Vloeibare produkten, die in het veld over het te behandelen oppervlak worden gespoten, zijn bijvoorbeeld bitumen, asfalt-rubber mengsels en vloeibare rubbersoorten. Er bestaan echter zeer weinig ervaringen met betrekking tot de praktische toepassing van dit soort materialen.

Het meest toegepast zijn de geprefabriceerde flexibele membranen, die in het veld als banen worden uitgerold en vervolgens aan elkaar gelast. Voorbeelden zijn: butyl rubber, polytheen (LDPE en HDPE), polyvinyl chloride (PVC), verschillende rubber- en polyethyleensoorten, en andere (zie HAXO et al, 1979, 1982). De chemische bestendigheid van deze polymerische membranen werd uitvoerig onderzocht in de USA door

HAXO et al (1979, 1982). In Nederland heeft TNO op grond van door de fabrikanten geleverde produktinformatie aanbevelingen gegeven voor toepassing van deze produkten als basisafdichting (ALGRA en DER KINDEREN, 1984).

In het door HAXO et al (1977, 1979, 1982) uitgevoerde onderzoek werden deze kunststofmembranen blootgesteld aan percolatiewater uit een afvalstort en aan een scala van chemische afvalstoffen. Meerdere materialen bleken te zwellen in contact met vloeistoffen, hetgeen leidt tot verweking van het materiaal, verlies van mechanische sterkte, afname van rekvermogen, toename van doorlatendheid, toename van de gevoeligheid voor biologische aantasting van het polymeer, en andere. De conclusies van dit onderzoek zijn:

- voorafgaand aan de keuze van een afdichtingsmateriaal moeten bestendigheidstesten worden uitgevoerd met het afval en het afvalwater waarmee het materiaal in contact zal komen;
- veld- en fabriekslasten zijn van essentieel belang voor de waterdichtheid van een synthetisch membraan en moeten zowel in het laboratorium als in het veld worden getest op lektheid, maar ook op bestendigheid in contact met afval en afvalwater;
- organische afdichtingsmaterialen zoals bitumineuze en polymerische membranen zijn gevoelig voor organische oplosmiddelen en de absorptie van deze stoffen leidt tot aanzienlijke verslechtering van de mechanische eigenschappen van de membranen;
- er zijn momenteel nog te weinig veldervaringen om de correlatie tussen kleinschalige laboratoriumtesten en het gedrag onder veldomstandigheden met zekerheid vast te stellen, vooral de bestendigheid op lange termijn blijft nog een onzekere factor.

Voor bovenafdichtingen zijn met name de testen met percolatiewater of organische oplosmiddelen minder interessant. Uit het onderzoek van HAXO et al (1979, 1982) blijkt echter dat verschillende materialen ook water absorberen of op de lange duur de weekmakers verliezen, waardoor het materiaal hard en bros wordt. Dit laatste werd vooral waargenomen bij PVC-membranen.

Uiteraard zijn de rek- en trekeigenschappen van het materiaal van belang in verband met zettingen. Deze eigenschappen worden meestal bepaald met behulp van 1-dimensionale trekproeven. Met het oog op de praktische situatie bij bovenafdichting verdient het echter aanbeveling

deze proeven zodanig uit te voeren dat het materiaal gelijktijdig in twee richtingen wordt uitgerekt. Het is namelijk gebleken dat materialen, die in één richting een groot rekvermogen hebben, bij tweedimensionale belasting soms zeer snel scheuren (zie ook ALGRA en DER KINDEREN, 1984).

Behalve de geprefabriceerde polymerische membranen zijn er ook met asfalt versterkte membranen, die in het algemeen aanzienlijk dikker zijn (4 à 5 mm) en daardoor beter bestand tegen mechanische beschadigingen. Hoewel de asfaltmaterialen water absorberen en vooral olieachtige stoffen constateerden HAXO et al (1982) geen achteruitgang van mechanische eigenschappen en geen toename van de doorlatendheden. In organische oplosmiddelen gaat het asfalt echter in oplossing.

Een belangrijk aspect bij toepassing van synthetische afdichtingsmaterialen is de betrouwbaarheid van de veldlassen. Niet alleen de lasstechniek, maar ook de weersomstandigheden tijdens het lassen kunnen van grote invloed zijn op de kwaliteit van de lassen. Uiteraard dient de las, evenals de folie, bestand te zijn tegen onregelmatige zettingen, ook bij relatief hoge temperaturen (tot 40 à 50°C).

4. SELECTIE VAN AFDEKGROND EN DRAINAGESYSTEEM

4.1. Algemene eisen

De fysische eigenschappen van de afdekgrond spelen een belangrijke rol bij de vochtvoorziening van de vegetatie en de ontwatering van de afdeklaag. De ontwatering dient zodanig te zijn dat langdurig hoge grondwaterstanden niet kunnen voorkomen en dat de kans op oppervlakteafvoer en erosie gering is.

De dikte van de afdeklaag wordt in hoofdzaak bepaald door de bewortelingsdiepte van de vegetatie en de gewenste vochtvoorraad in de afdeklaag om verdrogingsverschijnselen in de zomerperiode zoveel mogelijk te voorkomen. Ter bescherming van de afdichtingslaag zou volstaan kunnen worden met een laag van 30-50 cm, maar met het oog op de vegetatie heeft een dikkere laag van 80-100 cm de voorkeur.

4.2. Afdekgrond

De afdekgrond zal een redelijk vochthoudend vermogen moeten hebben. Geschikte gronden zijn humeus zand met een organische stofgehalte van 2-5% of een niet te zware kleigrond. De hoeveelheid beschikbaar vocht (tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt) ligt voor deze gronden in de orde van 15-20 vol%, dat wil zeggen bij een laagdikte van 60 à 75 cm bedraagt de hoeveelheid beschikbaar vocht dan 100-150 mm.

De fysische eigenschappen van de toplaag verdienen bijzondere aandacht, omdat direct na het aanbrengen van de afdeklaag de grond nog niet begroeid is waardoor de kans op oppervlakte-afvoer en erosie erg groot is, vooral op steile hellingen. Voor een berekening van de kans op erosie wordt vaak gebruik gemaakt van de zogenaamde 'Universal Soil Loss Equation' (zie LUTTON, 1982; HANDBOEK VOOR MILIEU-EFFECT-RAPPORTAGE, 1984). De in deze vergelijking voorkomende gewasfactor laat zien dat de kans op erosie op een onbegroeide grond meer dan 100 x hoger is dan op een met gras begroeide grond. De erosiegevoeligheidsfactor ligt het hoogst voor gronden met veel fijne delen, vooral in de siltfractie, en weinig organische stof. Dit betekent dat de toplaag vooral geen lemig zand of slempgevoelige zavelgrond mag bevatten. De toplaag dient een goede structuur te hebben en bij voorkeur te bestaan uit humeus leem-arm zand. Eventueel kan de erosiegevoeligheid van de toplaag nog vermindert worden door extra toevoeging van organische materiaal (b.v. compost).

Zodra de grond bedekt raakt met een grasvegetatie neemt de kans op oppervlakte-afvoer en erosie snel af. De grasmat zorgt ervoor dat de grond niet dichtslemt en zijn goede structuur behoudt.

Uiteraard speelt de steilheid van de helling een belangrijke rol bij de kans op erosie. Zo is de kans op erosie op een helling van 30% ca. 15 x groter dan op een helling van 5%.

De verzadigde doorlatendheid van de afdeklaag zou volgens HOEKS en AGELINK (1982) minstens 50 cm.dag^{-1} moeten zijn om verzekerd te zijn van een goede ontwatering van de afdeklaag, aangenomen dat in de afdeklaag een drainagesysteem aanwezig is vlak boven de af dichtingslaag. In dat geval is de kans op langdurige hoge grondwaterstanden in de afdeklaag gering.

Behalve de fysische eigenschappen van de grond zijn ook de chemische eigenschappen van belang, omdat het drainwater zal moeten voldoen aan de norm voor lozing op het oppervlaktewater. Dit aspect verdient

vooral aandacht als overwogen wordt om 'afvalgrond' te gebruiken als afdek materiaal. In dit verband kan men bijvoorbeeld denken aan met olie vervuilde grond die via het 'landfarming' procédé biologisch is gereinigd.

Bij zand-bentoniet afdichtingen is het gebruik van kalkrijke afdekgrond af te raden, aangezien de uitspoeling van Ca-ionen een omwisseling van de aan de bentoniet geadsorbeerde Na-ionen tot gevolg kan hebben waardoor het zwelvermogen van de bentoniet sterk terugloopt.

4.3. Drainerende zandlaag en drainagesysteem

Voor een goede ontwatering van de afdeklaag is het noodzakelijk om vlak boven de afdichtingslaag een drainagesysteem aan te leggen. De eerste laag grond boven de afdichtingslaag dient daarom goede drainerende eigenschappen te hebben en moet bij voorkeur bestaan uit humusarm, matig grof zand. Om inspoeling van fijne gronddeeltjes uit de bovenlaag in deze zandlaag te voorkomen, moet het verschil in fijnheid niet te groot zijn. LUTTON (1982) geeft hiervoor als criterium, dat de verhouding tussen D_{15} van het filtermateriaal en D_{85} van de bovengrond kleiner dan 4 à 5 moet zijn (D_{15} = diameter, die aangeeft dat 15% van het materiaal een korreldiameter heeft die kleiner of gelijk deze waarde is). Dit betekent dus dat wanneer de drainlaag een $D_{15} = 400 \mu\text{m}$ heeft, dat de D_{85} van de bovengrond niet kleiner mag zijn dan 80-100 μm . Over het algemeen zullen hier geen problemen ontstaan, tenzij de drainlaag zou bestaan uit grind met een zeer hoge D_{15} .

De laag grond boven de afdichtingslaag heeft overigens nog een andere functie, namelijk het beschermen van de afdichtingslaag tegen graafactiviteiten van bodemdieren en knaagdieren. Hiertoe moet de onderlinge samenhang (cohesie) tussen de zandkorrels gering zijn, zodat eventueel gegraven gangen meteen weer dichtvallen. Dit weerhoudt gravende dieren ervan om in deze laag hopen en gangen te graven. Deze bescherming is niet alleen van belang bij zand-bentoniet afdichtingen maar ook bij afdichtingen van synthetisch materiaal. Ook deze functie pleit voor een humusarm, matig grof zand. Op steile hellingen kan dit cohesieloze zand echter problemen geven vanwege de grotere kans op afschuiving van grond (zie HEIDEMIJ, 1985).

Bij de keuze van drainagematerialen en bij het opstellen van een drainageplan dienen een aantal zaken in het oog te worden gehouden:

- het drainagesysteem moet zoveel mogelijk uit enkelvoudige drains bestaan, omdat dit het onderhoud (doorspuiten) vergemakkelijkt;
- op steile hellingen dienen de drains ongeveer evenwijdig aan de hoogtelijnen te worden gelegd;
- de onderlinge drainafstand kan worden berekend met een door ERNST (1978) ontwikkelde formule, waarbij rekening wordt gehouden met de doorlatendheid van de grond, het ontwateringscriterium en de steilheid van de helling (zie HOEKS en AGELINK, 1982);
- de kosten voor het drainagesysteem vormen een relatief klein aandeel in de totale kosten van de eindafdekking; gezien het belang van een goede ontwatering is het dus alleszins gerechtvaardigd om iets duurdere en betere materialen te gebruiken, bijvoorbeeld voor het filtermateriaal rond de buizen;
- het drainagesysteem dient zodanig ontworpen te worden dat zo weinig mogelijk doorvoeren door de afdichtingslaag gemaakt hoeven te worden, dit in verband met het risico van lekkages;
- bijzondere aandacht vergt de scheiding van schoon drainwater en verontreinigd percolatiewater aan de voet van de helling langs de rand van de stortplaats.

Voor uitvoerige informatie over de aanleg van een drainagesysteem op een afdichtingslaag onder het stort wordt verwezen naar een rapport van HEIDEMIJ (1984), waarin informatie wordt gegeven over de lay-out van het drainagesysteem, de dimensionering en de te gebruiken materialen en constructies. Veel van deze informatie is ook nuttig en toepasbaar voor drainagesystemen in de afdeklaag op het stort. HEIDEMIJ (1984) doet voor drainage onder het stort de aanbeveling om HPE-ribbelbuizen met een minimale diameter van 80/72 mm te gebruiken met grind of soortgelijke materialen (lavakorrels, slakkengranulaat) als omhullingsmateriaal. Als de filter/beschermlaag bestaat uit grof zand is het wellicht ook verantwoord om de drains te omhullen met synthetisch dun vlies.

De dikte van de filter/beschermlaag dient 25-40 cm te zijn, waarmee de totale dikte van de afdeklaag op ca. 80-100 cm komt.

5. CONSTRUCTIE VAN DE AFDEKLAAG IN DE PRAKTIJK

5.1. Funderingslaag

Alvorens de afdichtingslaag kan worden aangebracht moet het afval worden afgedekt met een laag grond om een egaal vlakke ondergrond te krijgen. Meestal zal een laagdikte van 20 à 30 cm voldoende zijn. De laag dient als steunlaag en moet zo dik zijn dat geen scherpe voorwerpen meer door de zandlaag dringen en later de afdichtingslaag beschadigen. //

Het is om meerdere redenen wenselijk om bij het opbrengen van de laatste 1 à 2 meter afval al rekening te houden met de eindafdekking. Uiteraard moet in deze laag geen grof vuil meer worden verwerkt. In verband met de afvoer van stortgas onder de afdichtingslaag is het zeer aan te bevelen om in deze laatste afvallaag goed doorlatend materiaal te verwerken. Het verdient aanbeveling om in deze laag een horizontaal gasdrainagesysteem aan te brengen met behulp van geperforeerde buizen, grindbanen of puinbanen. Via dit gasdrainagesysteem kan het gas worden afgevoerd naar verticaal in het stort aangebrachte gasonttrekkings-buizen.

5.2. Afdichtingslaag

5.2.1. Klei of leem

Als men met de bovenafdichting slechts een vermindering van de infiltratie van regenwater wil bereiken zonder te streven naar volledige afdichting dan kan men onder bepaalde voorwaarden gebruik maken van klei of leem als afdichtingsmateriaal (zie fig. 2). Bij het afgraven van de klei of leem moet bijmenging van zand zoveel mogelijk worden vermeden. Op het stort wordt deze klei of leem uitgespreid in een laag van minimaal 25-50 cm dikte en zo goed mogelijk verdicht. Tijdens het aanbrengen zal reeds enige verdichting door het berijden (bulldozers, vrachtwagens) plaatsvinden. Na het aanbrengen van de laag is het gewenst om speciale verdichtingsmachines in te zetten voor een verdere verdichting van de laag (b.v. met een schapewals of bandenwals).

Bij optimale verdichting kan op deze manier de infiltratie worden gereduceerd tot 100 à 150 mm.jaar⁻¹. Bij grotere laagdikte, minimaal 50 cm of meer, kan de infiltratie worden teruggebracht tot minder dan 100 mm. Overigens blijft het probleem, dat het bereikte effect zeer sterk afhankelijk is van de in het veld te realiseren verdichting.

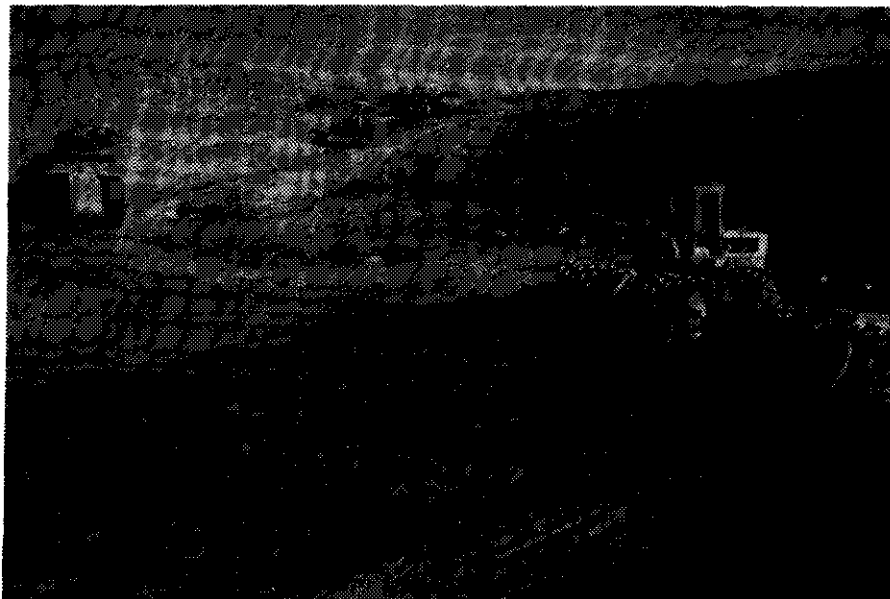


Fig. 2. Constructie van een basisafdichting bestaande uit slecht doorlatende klei (foto CECOS/CER Company, Ohio, USA)

5.2.2. Bentoniet-grondmengsels

Streeft men naar meer volledige afdichtingen dan vormen bentoniet-grondmengsels een goed alternatief. De menging van grond met bentoniet kan plaatsvinden zowel voor als na het aanbrengen van de laag in het veld. De menging vooraf kan plaatsvinden in een dwangmenger, bijvoorbeeld een betonmixer of een asfaltmenginstallatie (zie ook deelrapport 1: VAN DOMMELEN e.a., 1983). De menging vooraf zal over het algemeen een homogener mengsel opleveren dan de menging in het veld.

Menging in het veld kan geschieden met normale landbouwwerktuigen (frees, cultivator) of met speciale wegebouwmachines, die worden gebruikt bij de aanleg van wegfundering. Bij een in juni 1984 uitgevoerde proef in Rosmalen werden hier althans op het oog goede resultaten mee verkregen (samenwerking NBM en CEBO). De bentonietdosering werd hierbij ingesteld op 15 kg.m^{-2} en na elke menggang werd een bemonstering uitgevoerd. Voor de verdichting van de laag (mengdiepte 25 cm) werd een bandenwals ingezet.

Menging met landbouwwerktuigen vereist volgens LUNDGREN (1981) zeker 5-8 bewerkingsgangen alvorens een redelijke menging wordt verkregen.

Echter ook dan nog is de menging minder homogeen dan bij menging in een dwangmenger.

Als de menging vooraf plaats vindt, wordt na menging het mengsel uitgespreid in een laag ter dikte van 10 à 20 cm (d.i. dikte na verdichting). Bij de aanleg van de proefvelden in Wijster is gebleken dat 10 cm een wel zeer minimale laagdikte is (zie Deelrapport 1). Met bulldozers is het nauwelijks mogelijk om een egale dikte van 10 cm te realiseren. Afwijkingen in dikte van $\pm 2,5$ cm zijn onvermijdelijk. Het is daarom aan te bevelen een laagdikte van 20 cm aan te houden.

De bentonietdosering is sterk afhankelijk van de korrelgrootteverdeling van de gebruikte grond (GLAS, 1984; EPA, 1984). Naarmate de grond meer fijne delen bevat kan worden volstaan met een lager bentonietgehalte in het mengsel. EPA (1984) maakt daarbij nog een onderscheid tussen plastische fijne delen (kleideeltjes) en niet-plastische fijne delen (siltfractie). In fig. 3 is het effect van het gehalte aan fijne delen op de doorlatendheid van grond-bentonietmengsels weergegeven (fijne delen = gehalte aan deeltjes $< 74 \mu\text{m}$).

De gewenste bentonietdosering wordt vastgesteld op basis van een doorlatendheidstest in het laboratorium, daarbij rekening houdend met het niet-Darcy gedrag in dit lage doorlatendheidstraject. Hoewel voor sommige grondsoorten de eerdergenoemde grens van $5 \times 10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$ mogelijk al bereikt wordt met 2 à 4 gew. % bentoniet in het mengsel, lijkt 5 gew. % toch wel een minimum als men nog enige zwelcapaciteit wil overhouden voor het opvangen van onregelmatige zettingen.

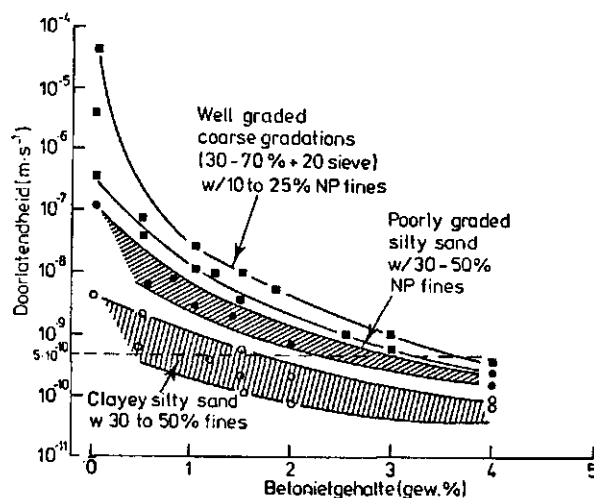


Fig. 3. Effect van het gehalte aan fijne delen (NP = niet-plastisch, P = plastisch) op de doorlatendheid van grond-bentonietmengsels (naar gegevens van D'APPELONIA, 1980; geciteerd door EPA, 1984)

De verdichting van de laag kan plaatsvinden met de bulldozer (rupsbanden) of met speciale verdichtingsmachines (schapenwals, bandenwals). Naarmate het bentonietgehalte kleiner wordt gekozen, worden hogere eisen aan de verdichting gesteld. Immers hoe lager de dichtheid hoe groter het poriënvolume. Verdichting tot een droog volumegewicht van 1800 kg.m^{-3} is goed te realiseren. Het optimale vochtgehalte voor verdichting ligt bij zandgrond in de orde van 15 gew. %. Naarmate de grond meer afslibbare delen bevat neemt het optimale vochtgehalte voor verdichting toe tot 20-25 gew. % (zie ook LUNDGREN, 1981; LUTTON, 1982). Hoe beter de verdichting gelukt hoe meer zwelcapaciteit blijft er over voor het opvangen van scheuren en onregelmatige zettingen.

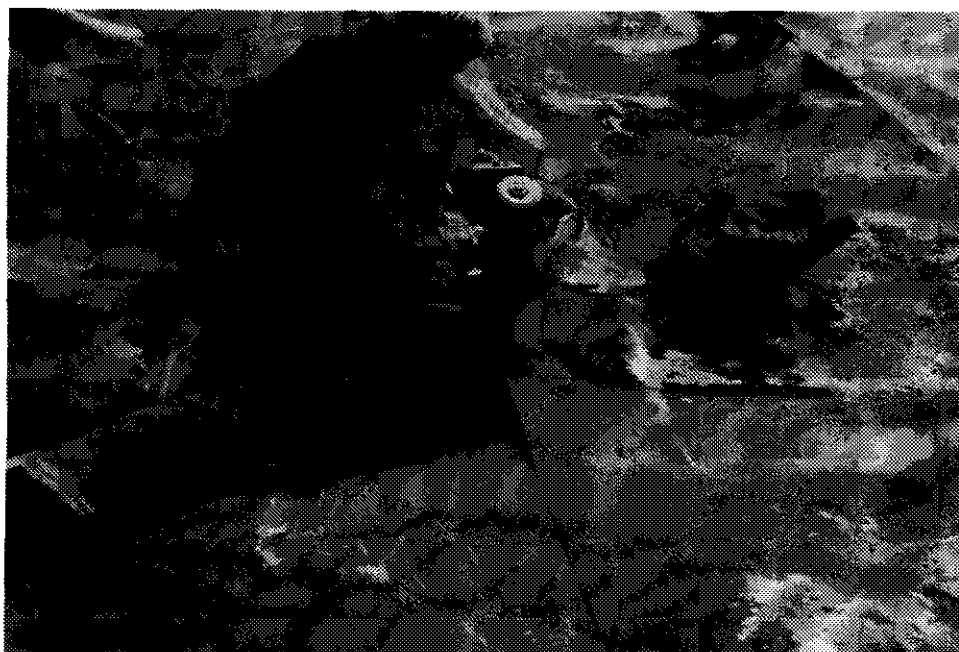
Het aanbrengen van een grond-bentoniet afdichtingslaag moet onder droge weersomstandigheden gebeuren. Regen tijdens het werk geeft veel praktische problemen, vooral op hellingen. Door swelling van de bentoniet wordt het oppervlak glibberig en onbegaanbaar voor mens en werktuig. Na het aanbrengen moet de laag daarom zo snel mogelijk worden afgedekt met grond.

Bij menging in het veld is men uiteraard nog meer afhankelijk van de weersomstandigheden. Het opbrengen van het droge bentonietpoeder, bijvoorbeeld met een cementdosereermachine uit de wegenbouw, veroorzaakt grote stofwolken en kan daarom alleen bij windstil weer worden uitgevoerd. Dit is in de praktijk vrijwel niet haalbaar. Overigens kan dit bezwaar van stuiven waarschijnlijk volledig worden ondervangen als de bentoniet met behulp van injecteurs in de grond (i.p.v. op de grond) gebracht zou kunnen worden. De menging in het veld lijkt verreweg het best te lukken met een landbouwfrees (of een soortgelijke machine uit de wegenbouw), waarbij een mengdiepte van 15-20 cm kan worden aangehouden. Is de grond erg nat dan wordt een minder goede menging verkregen. Ter compensatie kan dan meer bentoniet worden gebruikt (SCHMITT, 1983). De verdichting geschiedt op soortgelijke wijze als eerder is vermeld bij menging vooraf.

5.2.3. Synthetische produkten

De kwaliteit van synthetische afdichtingsconstructies wordt in belangrijke mate bepaald door de kwaliteit van de lasnaden. Een deel van de lasnaden wordt in de fabriek aangebracht. Deze fabriekslassen zijn doorgaans van betere kwaliteit dan de veldlassen.

A



B



Fig. 4. Het aan elkaar lassen van banen in het veld bij bovenafdichting met syntjetische afdichtingsmaterialen. A: Heet elementlassen van LDPE-folie; B: Lassen van bitumenmembranen met hete bitumen

Kunststoffoliën en bitumenmembranen worden geleverd in baan breedtes van 5-10 meter en deze banen worden in het veld aan elkaar gelast (zie fig. 4). De meest toegepaste lasmethoden voor kunststoffoliën zijn hete-luchtlassen en heetelementlassen. Bitumenmembranen worden in het veld aan elkaar gelast met hete bitumen.

De laswerkzaamheden moeten bij niet te lage temperaturen en onder droge weersomstandigheden worden uitgevoerd. Overigens zijn niet alle lasmethoden in gelijke mate gevoelig voor natte weersomstandigheden. Bij het uitleggen van vooral dunne kunststoffoliën kan te veel wind problemen veroorzaken in verband met opwaaien van de folie.

Na het leggen en lassen van de afdichtingsconstructie is het noodzakelijk om de lassen te controleren op lekdichtheid. Hiervoor bestaan vele methoden zoals ultrasoon onderzoek, lekdichtheidstesten met vacuumklok of perslucht, en andere (zie FREDERIKS en HEINIS, 1984).

Bij gebruik van kunststoffolies dient men in het oog te houden dat op steile hellingen (25-30%) gevaar bestaat voor afsluiving van grond over de afdichtingslaag. Dit is met name het geval op gladde foliën.

De syntjetische afdichtingsconstructies moeten, evenals de zand-bentonietafdichtingen, zo snel mogelijk worden afgedekt met grond om mechanische beschadiging of kwaliteitsvermindering door zonnestraling te voorkomen.

5.3. Afdekgrond

Zoals reeds in par. 4.3 is vermeld moet de afdichtingslaag bij voorkeur worden afgedekt met humusarm, matig grof zand om deze te beschermen tegen graafactiviteiten van bodemdieren en knaagdieren. Deze laag ter dikte van 30 à 40 cm is tevens bedoeld om een goede afvoer van water naar de drains te waarborgen. Deze humusarme laag wordt vervolgens afgedekt met een laag teelaarde ter dikte van 50-60 cm. De genoemde laagdikten gelden na zetting, dat wil zeggen dat bij het opbrengen de lagen zeker 10% dikker moeten zijn dan hier aangegeven.

De afdekgrond moet zo droog mogelijk worden verwerkt om sterke verdichting bij het aanbrengen van de laag te vermijden. Niettemin zal, na het aanbrengen, de bovenlaag moeten worden losgemaakt alvorens gras gezaaid kan worden. Deze grondbewerking kan worden uitgevoerd met een ploeg, cultivator of triltandcultivator. Op hellingen moet deze bewerking langs de hoogtelijnen worden uitgevoerd om te voorkomen dat er

in de lengterichting van de helling geulen ontstaan, waarlangs oppervlakkig afstromend water naar beneden kan spoelen. Als de steilheid van de helling niet toelaat dat gebruik wordt gemaakt van trekkers of bulldozers dan zal de grondbewerking moeten worden uitgevoerd met kleinere werktuigen (b.v. met een tuinbouwtrekker) of zelfs met de hand.

5.4. Drainagesysteem

In het algemeen zal het niet mogelijk zijn om met grote draineermachines op het stort te werken. Wel kan men met kleinere machines sleuven graven, waarna de drains met de hand worden gelegd. Het verdient echter voorkeur om de drains uit te leggen op de afdichtingslaag voordat men de afdekgrond opbrengt (zie fig. 5). Daarmee wordt vermeden dat later nog een drainsleuf moet worden gegraven met kans op beschadiging van de afdichtingslaag. Uiteraard moet bij het opbrengen van de grond de nodige voorzichtigheid in acht worden genomen om de uitgelegde drains niet te beschadigen.



Fig. 5. Drainagesysteem op de afdichtingslaag (hier een bitumenmembraan)

Op hellingen moeten de drains evenwijdig aan de hoogtelijnen worden gelegd. De onderste 30-40 cm van de drainsleuf moet worden opgevuld met humusarm, matig grof zand (zelfde zand als gebruikt voor de drainerende laag boven de afdichting).

De drains kunnen bestaan uit de normale landbouwdrainbuis met cocos-omhulling. Overigens is dit cocosmateriaal niet bestendig op de lange termijn omdat het wordt afgebroken door micro-organismen. Wellicht is het beter de drains te omhullen met duns vlies of filterdoek in combinatie met filterzand of eventueel turf (zie ook par. 4.3; HEIDEMIJ, 1984).

Het ontwerp van het gehele drainagesysteem voor een stortplaats van vele hectares verdient bijzondere aandacht. Het drainagesysteem kan eventueel gecombineerd worden met een systeem van greppels en sloten in de afdeklaag. Belangrijk is in ieder geval dat het systeem eenvoudig is van opzet, zodat het gemakkelijk te onderhouden is.

5.5. Speciale constructies aan de voet van de helling

Van essentieel belang bij bovendichting is de scheiding van schoon drainwater en vuil percolatiewater uit het stort. Vooral op stortplaatsen, die reeds lang in bedrijf zijn, kan zijdelings percolatiewater uittreden. Ook na volledige afdichting aan de bovenzijde kan deze uittreding van percolatiewater nog lange tijd doorgaan gezien de soms hoge waterstanden in het stort. Op stortplaatsen met een basisafdichting zal het percolatiewater volledig moeten worden opgevangen in een ringsloot of ondergronds riool rond het stortterrein.

Een probleem bij de aanleg van deze 'teenconstructie' is dat de werkomstandigheden vaak verre van ideaal zijn als gevolg van het uittredende percolatiewater. Het maken van waterdichte lassen wordt daarvoor bemoeilijkt. Bij het VAM-bedrijf in Wijster is reeds de nodige ervaring opgedaan met dergelijke 'teenconstructies'. Ook hier geldt dat het resultaat beter is en het systeem gemakkelijker is te onderhouden naarmate de constructie eenvoudiger is van opzet.

Meer praktijkervaringen zijn nodig om aan te geven hoe de scheiding van schoon en vuil water het best kan worden gerealiseerd. Een algemeen geldend advies is om het aantal doorvoeringen van drains door de afdichtingslaag tot een minimum te beperken, omdat hier in principe een kans op lekkage aanwezig is.

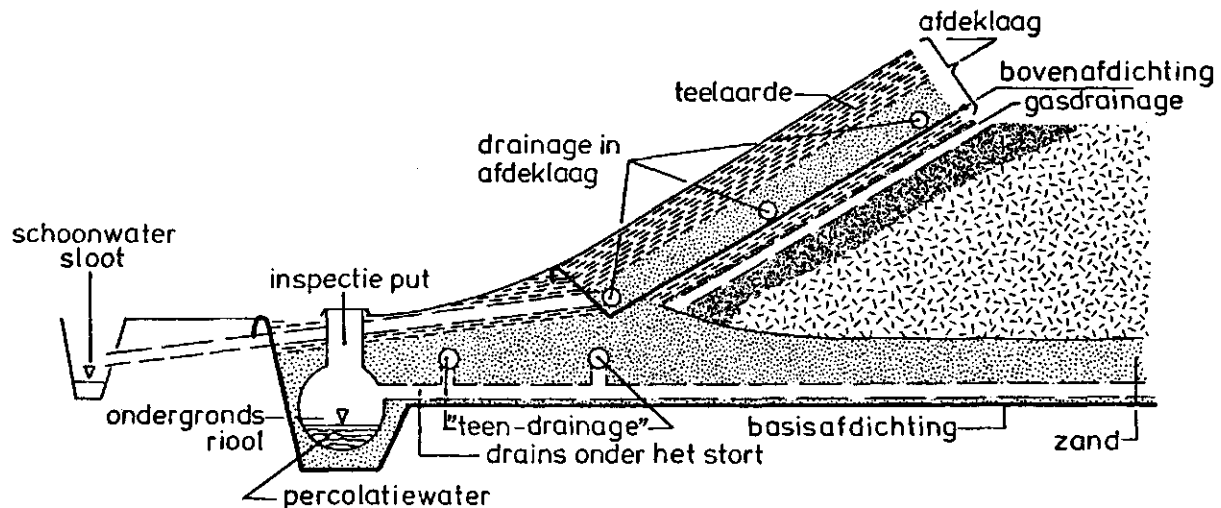


Fig. 6. Een mogelijk ontwerp voor de scheiding van schoon water en percolatiewater aan de teen van het storttalud

Een voorbeeld van een 'teenconstructie' is gegeven in fig. 6. Een probleem zou kunnen zijn, dat hier in de nabijheid van het ondergrondse riool stortgas ontwijkt in de atmosfeer, waardoor ter plaatse de vegetatie kan afsterven. Andere oplossingen zijn denkbaar, mits de constructie eenvoudig blijft, praktisch is te realiseren en goed controleerbaar blijft.

5.6. Speciale constructies in verband met gasvorming

In praktisch elk afvalstort wordt gas gevormd en ook na aanbrengen van een bovenafdichting zal de produktie van stortgas doorgaan. Als het gas niet kan ontsnappen dan kan de gasdruk hoog oplopen. Onder de afdichtingslaag moet daarom een ontgassingssysteem worden aangelegd, bestaande uit een goed doorlatende laag met bij voorkeur horizontale puin- of grindbanen of een gasdrainagesysteem. Op regelmatige afstanden zal het gas via een verticale ontgassingsbuis, die door de afdichtingslaag naar boven komt, moeten kunnen ontsnappen. Vooral op grotere stortplaatsen kunnen deze ontgassingsbuizen worden aangesloten op een centraal afzuigstelsel en kan het gewonnen gas worden gebruikt voor verwarming van gebouwen, voor aandrijving van motoren en opwekking van elektriciteit (zie ook HOEKS en OOSTHOEK, 1981).

5.7. Inzaaien en beplanten

Direct na het opbrengen is de afdeklaag erg gevoelig voor erosie, omdat de grond nog onbegroeid is (zie fig. 7). De kans op erosie is afhankelijk van:

- de grondsoort: de kans op erosie neemt toe naarmate de grond meer fijne delen, vooral in de siltfractie, bevat en naarmate het organische stofgehalte lager is;
- de vegetatie: de kans op erosie is vooral groot op onbegroeid, braakliggend terrein, maar neemt snel af zodra de bodem bedekt raakt door vegetatie;
- de helling: het spreekt haast vanzelf dat de kans op erosie snel toeneemt naarmate de helling steiler is.

Om erosie te voorkomen moet de toplaag dus tamelijk humeus zijn. Eventueel kan extra compost worden toegevoegd. Vervolgens moet zo snel mogelijk gras worden ingezaaid.



Fig. 7. Erosie van de toplaag op een onbegroeide helling

De planning van de werkzaamheden moet zodanig zijn dat uiterlijk omstreeks eind augustus/begin september het gras kan worden ingezaaid. Dit is noodzakelijk om voor de winter nog een redelijke grasmat te krijgen. Als de werkzaamheden onverhoopt toch later in het najaar moeten worden uitgevoerd kan men het beste een mengsel van rogge en gras inzaaien. Rogge is namelijk een snel kiemend en snel groeiend gewas, zodat de grond ook dan nog redelijk snel bedekt raakt door de vegetatie. Waarschijnlijk is het gebruik van rogge zelfs in alle omstandigheden aan te bevelen om een snelle bodembedekking te krijgen.

Als de uiteindelijke bestemming van het storterrein in de recreatiesfeer ligt zullen vroeger of later ook struiken en bomen worden geplant. Aangezien diepwortelende planten schade kunnen berokkenen aan de afdichtingslaag is het in dergelijke gevallen van groot belang dat de drainerende zandlaag vlak boven de afdichtingslaag bestaat uit moeilijk doorwortelbaar humusarm en matig grof zand. Met de aanplant van bomen en struiken kan men overigens beter wachten tot zich een goede grasmat heeft ontwikkeld.

6. CONTROLE OP LEKKAGES

Afgezien van de controles op dichtheid van de afdichtingslaag tijdens de constructie, kunnen ook na de aanleg van de eindafdekkingslaag nog controles op lekdichtheid worden uitgevoerd. Een eerste indruk wordt verkregen door meting van de drainafvoer boven de afdichtingslaag. De totale drainafvoer over een jaar zal in de orde van het neerslagoverschot moeten liggen. Daarbij dient uiteraard de neerslag te worden gemeten en moet men de verdamping schatten. Voorlopig bestaan geen aanwijzingen dat de verdamping op een afvalstort belangrijk hoger zou zijn dan in het vlakke veld in de naaste omgeving.

Lekken in de bovenafdichting leiden tot het ter plaatse ontsnappen van stortgas. Bij lekkages van enige omvang zal dit al gauw leiden tot het afsterven van de vegetatie ter plaatse. Vooral in de nazomer en het najaar openbaart dit zich zeer duidelijk. In twijfelgevallen kan een eenvoudige gaslekzoekmeter goede diensten bewijzen.

Bij zand-bentonietafdichtingen bestaat in principe de mogelijkheid dat door uitdroging in de zomer de laag gasdoorlatend wordt. Onder natte omstandigheden in het najaar kan de laag dan weer opnieuw dicht-

zwellen en ondoorlatend worden. Vanwege het gevaar van uitdroging moet de afdeklaag zo geconstrueerd worden dat uitdroging van de afdichtingslaag zoveel mogelijk wordt voorkomen. De afdeklaag moet daarom vrij dik zijn en de drainerende zandlaag moet niet kunnen uitdrogen (geen beworteling in deze laag).

Een voordeel van bovenafdicthting is, dat bij optredende lekkages nog relatief eenvoudig herstelwerkzaamheden kunnen worden uitgevoerd. Bij een basisafdicthting onder het stort is dit uiteraard niet meer mogelijk.

7. CONCLUSIES

De ervaringen met betrekking tot de praktische uitvoering van bovenafdicthtingen op afvalstortterreinen zijn zeer schaars. In de buitenlandse literatuur wordt hoofdzakelijk de afdekking met kleimateriaal vermeld, overigens zonder praktische informatie omtrent de wijze van aanbrengen en verdichten. Ook gegevens omtrent de lekkage van regenwater door dergelijke kleiafdekkingen ontbreken geheel. Naar verwachting zal het effect op de infiltratie van regenwater echter gering zijn. Alleen bij gebruik van zwellende montmorillonieethoudende kleigronden, die goed worden verdicht, zijn waarschijnlijk wel gunstige resultaten te bereiken.

Wel zijn vele publikaties beschikbaar, waarin algemene eisen met betrekking tot afdichtingsmaterialen en afdekgrond staan vermeld. In dit verband kan worden verwezen naar een tweetal publikaties van LUTTON e.a. (1972, 1982), waarin veel nuttige informatie wordt gegeven.

Op grond van eigen ervaringen en de gegevens uit de literatuur kunnen de volgende materialen als geschikt worden aangemerkt voor bovenafdicthting van stortplaatsen:

- zwellende, montmorillonieethoudende kleigronden: hoewel geen complete afdicthting haalbaar lijkt, kan met deze klei wel een belangrijke reductie van de infiltratie van regenwater worden bereikt;
- grond-bitumenmengsels: er bestaan nog weinig ervaringen, maar gezien de elasticiteit en mogelijkheid tot vervorming lijkt dit materiaal geschikt voor afdicthting;
- grond-bentonietmengsels: de tot nu toe opgedane ervaringen wijzen er op dat deze mengsels goed bestand zijn tegen zettingen en tevens voldoen aan de gestelde criteria met betrekking tot waterdichtheid;

- synthetische membranen: vele produkten zijn geschikt uit oogpunt van wat waterdichtheid, er bestaan echter weinig ervaringen met betrekking tot tot het effect van zettingen. De materialen zullen in dit verband moeten worden beoordeeld op rek- en trekeigenschappen (bij twee-dimensionale belasting!), elasticiteit en mogelijkheid tot vervorming. Op steile hellingen moeten geen gladde folies worden gebruikt in verband met de kans op afschuiven van de grond.

De afdekgrond moet bij voorkeur worden opgebouwd in twee lagen, waarbij de onderlaag fungeert als drainlaag en tevens de afdichtingslaag moet beschermen tegen mechanische beschadiging door plantenwortels en bodemdieren en tegen uitdroging. De bovenlaag fungeert als bewortelingslaag voor de vegetatie. Om direct na het opbrengen erosie te voorkomen lijkt het verstandig een mengsel van rogge/haver en gras te zaaien, waarbij de rogge/haver, vanwege de snelle kieming en ontwikkeling van het gewas, ervoor zorgt dat op korte termijn de bodem bedekt raakt.

Een punt dat bijzondere aandacht verdient bij het aanbrengen van bovenafdichtingen, betreft het drainagesysteem boven de afdichtingslaag. Vooral bij grotere stortplaatsen dient het gehele ontwateringsplan zeer kritisch beschouwd te worden in verband met onderhoud en een ongestoorde afvoer van drainwater. Vooral de 'teenconstructie' aan de voet van de hellingen verdient aandacht omdat hier tevens vervuild percolatiewater kan uittreden.

Speciale constructies zijn vereist in verband met een ongestoorde afvoer van gas uit het stort. Onder de afdichtingslaag dient daarom een gasdoorlatende laag aanwezig te zijn, welke aansluit op verticaal in het stort aangebrachte gasonttrekkingsbuizen.

LITERATUUR

- ALGRA, E.A.H. en F.A. DER KINDEREN, 1984. Protocollen voor het toepassen van afdichtingsfolies ten behoeve van bodembescherming in het bijzonder bij stortplaatsen. Bodembescherming nr 39. Min. VROM, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- ANDERSON, D., K.W. BROWN and J. GREEN, 1982. Effect of organic fluids on the permeability of clay soil liners. Proceedings SHWRD-Symposium.
- BOGUSH, W., 1979. Versuche zur Deponiebasisabdichtung met Wasserglas. In: Deponiebasisabdichtung (Ed. K. Stief, 1979). Beiheft 15, Müll und Abfall.
- BROWN, K.W. and D. Anderson, . Effect of organic chemicals on clay liner permeability (a review of the literature).
- CHEYNEY, A.C., 1983. Settlement of landfills. Proc. Landfill Completion Symposium (25 May 1983), Harwell (UK).
- DOMMELEN, J. VAN, W. VENEMA, J. HOEKS en A.H. RYHINER, 1983. Onderzoek naar de praktische uitvoerbaarheid van bovenafdichting op afvalstortterreinen. Deelrapport 1: Onderzoeksopzet en aanleg van proefvelden. Nota 1458, ICW, Wageningen.
- EPA, 1982. Handbook for remedial action at waste disposal sites. EPA-625/6-82-006, EPA, Cincinnati, USA.
- , 1984. Slurry trench construction for pollutant migration control. EPA-540/2-84-001, EPA, Cincinnati, USA.
- FREDERIKS, A.N.J., en F.S. HEINIS, 1984. Gecontroleerd opslaan en storten van (chemische) afvalstoffen. Land+Water-nu 24 (nr 3): 8-14.
- GLAS, H., 1984. Bentoniet-zandlagen als afdichting op stortplaatsen. Stageverslag, ICW, Wageningen.
- GÖDECKE, H.J., 1980. Entwicklung eines Fliessgesetzes für die Porenwasserdurchströmung feinkörniger Böden unter kleinen Druckgradienten. Die Bautechnik 6: 184-193.
- HANDBOEK VOOR MILIEU-EFFECT-RAPPORTAGE, 1984. Deel Boden en Grondwater: Beschrijving van 'Universal Soil Loss Equation' (in voorbereiding, RIVM/ICW).
- HAXO, H.E., R.S. HAXO and R.M. WHITE, 1977. Liner materials exposed to Hazardous and toxic sludges (First Interim Report). EPA-600/2-EPA-600/2-77-081, EPA, Cincinnati, Ohio, USA.

- HAXO, H.E., R.S. HAXO and T.F. KELLOGG, 1979. Liner materials exposed to municipal solid waste leachate. EPA-600/2-79-038, EPA, Cincinnati, USA.
- , 1982. Chemical compatibility of lining materials with different waste fluids. Paper submitted for Conference in Paris (F).
- HEIDEMIJ, 1981. Natuurlijke afdichtingsmaterialen. Bodembescherming nr 8. Min. VROM, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- , 1984. Opvang en behandeling van percolatiewater van afvalstortterreinen. Reeks Bodembescherming nr 35, Min. VROM, Staatsuitgeverij, Den Haag.
- , 1985. Onderzoek afdekgrond op taluds stortplaats te Wijster. Rapport AND 04/C/Nijl (proj. nr 630-03738). Heidemij Adviesbureau, Arnhem.
- HOEKS, J. en J. OOSTHOEK, 1981. Gaswinning uit afvalstortterreinen. Gas 11 (nov. 1981); tevens verschenen als Meded. n.s. 14, ICW, Wageningen.
- en G.J. AGELINK, 1982. Onderzoek naar mogelijkheden om de infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen. Rapporten n.s. 3, ICW, Wageningen (tevens in: Bodembescherming nr 10, Staatsuitgeverij, Den Haag).
- and G.J. AGELINK, 1982. Hydrological aspects of sealing waste tips with liners and soil covers. IAHS-Publ. 139 (Symposium exeter, July 1982): 157-167. Tevens verschenen als: Techn. Bull. n.s. 14, ICW, Wageningen.
- J., 1983. Final covering of landfill sites. Proc. Landfill Completion Symposium (25 May 1983), Harwell, UK.
- LUNDGREN, T.A., 1981. Some bentonite sealants in soil mixed blankets. Proc. Conf. Soil Mechanics and Foundation Eng., June 1981, Stockholm, Vol 2: 349-354.
- LUTTON, R.J., G.L. REGAN and L.W. Jones, 1979. Design and construction of covers for solid waste landfills. EPA-600/2-79-165, EPA, Cincinnati, USA.
- , 1982. Evaluating cover systems for solid and hazardous waste, EPA, Cincinnati, USA.
- SCHMITT, G.P., 1983. Mineralische Abdichtungen durch Bentonit-Ton-Gemische mit natürlichen Böden. Tagung Nr. T-70-505-092-3, Haus der Technik, Essen.
- STEFFEN, H., 1979. Versuche zur Abdichtung von Deponien mit Bergematerial. In: Deponiebasisabdichtung (Ed. K. Stief, 1979); Beiheft 15, Müll und Abfall.