

32/446 (300)2ex

**Toepassingsmogelijkheden van TRISOPLAST voor de af-
dichting van afval- en reststofbergingen**

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

A.M. Weitz

D. Boels

H.J.J. Wiegers

J.J. Evers-Vermeer

Rapport 300

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1994



13

187 596408*

REFERAAT

Weitz, A.M., D. Boels, H.J.J. Wiegers en J.J. Evers-Vermeer, 1994. *Toepassingsmogelijkheden van TRISOPLAST voor de afdichting van afval- en reststofbergingen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 300, 58 blz.; 10 fig.; 9 tab.; 11 ref.; 4 aanh.

TRISOPLAST is de handelsnaam van een mengsel van een speciale klei-gel en zand die in droge en halfdroge toestand wordt verwerkt. Het is een nieuw materiaal voor toepassing in afdichtingen van afval- en reststofbergingen. De doorlatendheid voor water bedraagt $0,1 - 0,4 \cdot 10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$ bij proctordichtheden groter dan 92%. De doorlatendheid wordt niet beïnvloed door vuilstortpercolaat, zuren en basen, langdurige blootstelling aan UV-licht, lucht, hogere temperaturen en deformatie. De plasticiteitsindex bedraagt 180%. Het zwelvermogen van de droge klei-gel bedraagt 800% in 1 uur en 950% in 24 uur. Bij mechanische verwerking worden geen problemen verwacht bij vochtgehaltes onder 35%. In de praktijk zal het materiaal bij vochtgehaltes onder de 20% worden verwerkt. De kationenuitwisselcapaciteit van de kleigel komt overeen met illiet. Diffusie van opgeloste stoffen wordt niet door de klei-gel geremd. Organische verbindingen zoals toluen, etylbenzeen worden niet geadsorbeerd, terwijl butylbenzeen en acenafteen even sterk worden geadsorbeerd door TRISOPLAST als door zand. Deformatie heeft geen meetbare invloed op de doorlatendheid. Consolidatie van TRISOPLAST in een triaxiaalproef heeft geleid tot vrijwel absolute ondoorlatendheid. De voordelen van TRISOPLAST boven gangbare minerale afdichtingsmaterialen zijn de zeer lage waterdoorlatendheid, de ongevoeligheid voor de aard van vloeistoffen waarmee het in contact komt, de hoge plasticiteit, de verminderde kans op uitspoeling van de klei, de relatieve ongevoeligheid voor uitvoeringson nauwkeurigheden en de extreem lage doorlatendheid bij hoge belastingen. TRISOPLAST levert een milieurendement door de mogelijkheid voor materiaalbesparing tot 60%, een verminderde bodembelasting van 60-90%, vergroting van het stortvolume per ha tot ca. 4000 m³ en verruiming van de locatiekeuze van stortterreinen.

Trefwoorden: plasticiteit, verdichting, doorlatendheid, adsorptie, kationenuitwisselcapaciteit, temperatuur

ISSN 0927-4499

©1994 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812.

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 veelevoudigd 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.
Voorwoord	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Vereiste materiaaleigenschappen voor toepassing in afdich-tingslagen	15
3 Verkennend onderzoek	19
4 Aanvullend onderzoek aan TRISOPLAST	21
4.1 Materiaal	21
4.2 Aanmaak van TRISOPLAST	22
4.3 Proefopzet	22
4.4 Methoden	24
4.4.1 Proctorproef	24
4.4.2 Doorlatendheid	24
4.4.2.1 UV-proef	25
4.4.2.2 Oxydatieproef	26
4.4.3 Deformatieproef	26
4.4.4 Waterretentie en krimpkarakteristiek	27
4.4.5 Enslin-proef	27
4.4.6 Plasticiteitsindex	28
4.4.6.1 Uitrolgrens	28
4.4.6.2 Vloeigrens	28
4.4.7 Adhesie	28
4.4.8 Adsorptiecapaciteit (CEC) en kationenbezetting	29
4.4.9 Adsorptieproces	29
4.4.10 Diffusie	30
4.5 Resultaten	30
4.5.1 Proctorproef	30
4.5.2 Doorlatendheid	31
4.5.2.1 UV-proef	35
4.5.2.2 Oxydatieproef	37
4.5.2.3 Temperatuurproef	37
4.5.2.4 Doorlatendheden van de speciale variant	38
4.5.2.5 Invloed van de pH van de testvloeistof	39
4.5.2.6 Semi-veldschaal	39
4.5.3 Deformatieproef	40
4.5.4 Waterretentie en krimpkarakteristiek	40
4.5.5 Enslin-proef	41
4.5.6 Plasticiteitsindex	44

4.5.7 Adhesieproef	44
4.5.8 Adsorptiecapaciteit en kationenbezetting	44
4.5.9 Adsorptie	45
4.5.10 Diffusiecoëfficiënt	48
5 Beoordeling TRISOPLAST in relatie tot andere minerale af- dichtingsmaterialen	49
Literatuur	53
Aanhangsels	55

Tabellen

1 Granulaire samenstelling gebruikt zand	22
2 Onderzochte eigenschappen en daarbij gebruikte methoden	23
3 Vochtgehalte van standaard en verschaalde TRISOPLAST en bijbehorende dichtheid (kg.m^{-3}) volgens de Proctor-methode bij twee verschillende zandtypen.	31
4 Droogvolumegegewicht van verschillende monsters waarvan de doorlatendheid is gemeten	33
5 Resultaten doorlatendheid voor water en vuilstortpercolaat	34
6 Doorlatendheden van standaard-TRISOPLAST bij verschillende beïnvloedingen	35
7 Proctorwaarden en doorlatendheid van 'speciale varianten'	38
8 Invloed van zuurgraad op doorlatendheid ($\cdot 10^{-11}$ m/s) van TRISOPLAST	39
9 Doorlatendheid voor water van geschikte minerale materialen voor af- dichtingslagen en van TRISOPLAST	49

Figuren

1 Meetopstelling voor de 'falling head' methode	26
2 Proctorcurven van TRISOPLAST-zand mengsels	32
3 Samenhang tussen droog-volumegegewicht en doorlatendheden voor water en vuilstortpercolaat.	36
4 Invloed van temperatuur op de doorlatendheid van TRISOPLAST	38
5 Krimp- en vochtretentiekarakteristiek van standaard-TRISOPLAST mengsel	41
6 Wateropname van klei-gel in de Enslin-proef A - vers gemengde standaard TRISOPLAST B - eerder gedroogde TRISOPLAST	42
7 Wateropname van TRISOPLAST zonder belasting	43
8 Adhesieproef	45
9 Doorbraakcurven van nitraatoplossing, 10 mg.l^{-1} , voor een TRISOPLAST- kolom. Het doorbraakvolume, 1,7 ml, is in dit geval het totale volume aan poriën	46
10 Doorbraakcurven van butylbenzeen en acenafteen. Influentconcentratie butylbenzeen $0,6 \text{ mg.l}^{-1}$, acenafteen $0,4 \text{ mg.l}^{-1}$	47

Voorwoord

In 1992 is door General Industrial Developments te Kerkdriel een opdracht verleent aan DLO-Staring Centrum voor een onderzoek naar toepassingsmogelijkheden van TRISOPLAST in bodembeschermende afdichtingsconstructies. TRISOPLAST is de handelsnaam van een mengsel van bentoniet, zand en een polymeer. Het polymeer gaat hierbij een binding aan met bentoniet.

Het materiaal is beproefd volgens de 'Richtlijn onderafdichtingsconstructies voor stort- en opslagplaatsen' van het ministerie van VROM, onder toezicht van NOVEM, Rijkswaterstaat en het ministerie van VROM.

Samenvatting

In opdracht van General Industrial Developments Benelux B.V. heeft DLO-Staring Centrum de geschiktheid onderzocht van een mengsel van een speciale 'klei-gel' en zand voor de afdichting van afval- en reststofbergingen. De handelsnamen waaronder deze klei-gels verwerkt worden zijn TONPLAST en TRISOPLAST. De variant waarbij een laag van klei-gel gemengd met een vulmateriaal ontstaat wordt aangeduid als TRISOPLAST. Voor de aanmaak van TRISOPLAST is bentoniet gebruikt. Door het percentage bentoniet te variëren is een standaard- en een verschaalde variant verkregen.

Omdat TRISOPLAST een nieuw materiaal is, moet voor toepassingen in afdichtingen van afval- en reststofbergingen conform de vereisten volgens VROM, 1993 worden aangetoond, dat het minstens gelijkwaardig is aan de huidige gangbare zand-bentoniet-afdichtingen. Daartoe is de verdichtbaarheid en waterdoorlatendheid in relatie tot het droogvolumegegewicht onderzocht. Van de standaard-TRISOPLAST is de thermische, chemische en mechanische stabiliteit, de waterretentiekarakteristiek, plasticiteit, adhesie, diffusiecoëfficiënt en adsorptievermogen, het zwelgedrag en de kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) onderzocht.

In een verdichtingsproef is standaard-TRISOPLAST tot 1690 kg/m^3 verdicht, en verschaalde TRISOPLAST tot 1720 kg/m^3 . De richtwaarde voor de te bereiken verdichting van met bentoniet gemengde grond ligt op 1700 kg/m^3 . TRISOPLAST voldoet dus aan deze eis.

Het zwelvermogen van TRISOPLAST is reversibel. De wateropnamesnelheid van de droge klei-gel (800% in 1 uur en 950% na 24 uur) is groter dan de eisen en de gangbare geactiveerde Europese bentoniet.

De plasticiteitsindex van de klei-gel is erg hoog (180%); veel hoger dan de vereiste 35% en aanzienlijk hoger dan zand-bentoniet mengsels (ca. 12%).

Bij vochtonttrekking aan een verzadigde TRISOPLAST dringt geen lucht in het materiaal: het krimpt. Bij zuigspanningen die tijdelijk in een bovenafdichting verwacht worden, verliest TRISOPLAST zeer weinig water en blijft luchtdicht. Hiervoor zijn geen eisen geformuleerd. Natuurlijke minerale afdichtingen blijken onder omstandigheden waaraan bovenafdichtingen bloot staan tijdelijk gasdoorlatend te zijn.

De doorlatendheid voor water is voor varianten met verschillende dichtheden bepaald. Van beide varianten is de doorlatendheid het laagst bij de hoogste dichtheid. Verdichting tot meer dan 92% proctordichtheid levert geen significant lagere doorlatendheid. De preparatieprocedure heeft duidelijk invloed op de doorlatendheid. 'Droog' gemengde monsters hebben een lagere doorlatendheid dan 'nat' gemengde varianten.

Van een bovenafdichting wordt geëist dat de flux kleiner is dan 0,0001 m/dag bij een gradiënt van 5 en van een onderafdichting wordt verlangd dat de flux kleiner is dan 0,000055 m/dag bij een gradiënt van 2,6. Dit betekent dat de doorlatendheid minder dan $2,3 \cdot 10^{-10}$, resp. $2,4 \cdot 10^{-10}$ m/s moet zijn. De tot nu toe gemeten waarden ($0,1 - 0,6 \cdot 10^{-10}$ m.s⁻¹) liggen voor alle varianten ruim onder deze grenswaarde; van de zeer plastische varianten (1300 tot 1000 kg/m³) ligt de gemeten doorlatendheid in de buurt van de grenswaarde. De doorlatendheid van de gangbare zand-bentoniet mengsels is ruim 10 keer groter dan van TRISOPLAST. Uit een semi-praktijkproef op het stortterrein 'De Spinder' te Tilburg is gebleken dat de zeer lage doorlatendheid ook onder praktijkomstandigheden kan worden gerealiseerd met zowel het standaard- als het verschaald mengsel.

Om aan de eis te voldoen dat de flux door de afdichtingslaag geringer is dan 0,0001 m/dag, zou met een TRISOPLAST-laag van 0,05 m kunnen worden volstaan. De daarvoor benodigde dichtheid moet meer dan 92% proctor dichtheid zijn. Bruikbaar hiervoor is de standaard, verschaalde en 'droog' gemengde TRISOPLAST.

Vuilstortpercolaat heeft geen nadelige invloed op de doorlatendheid, eerder het tegendeel, zodat waarschijnlijk geen extra veiligheid behoeft te worden ingebouwd voor nadelige effecten van contact met percolaat.

Een zeer lage pH (1,5) of een zeer hoge pH (10,0) heeft geen invloed op de doorlatendheid van TRISOPLAST-zandmengsels.

De kationenomwisselcapaciteit laat zien dat althans een deel van de bindingsplaatsen door de polymeer bezet of geblokkeerd worden, waardoor een geringere invloed voor meerwaardige ionen op de doorlatendheid ontstaat. De kationenomwisselcapaciteit van de klei-gel komt overeen met het kleimineraal illiet.

Uit de gemeten diffusiecoëfficiënt voor bromide valt af te leiden, dat diffusie van opgeloste stoffen door TRISOPLAST niet extra wordt geremd.

Oplosbare organische verbindingen zoals tolueen en etylbenzeen worden niet door TRISOPLAST geadsorbeerd, terwijl de adsorptie van butylbenzeen en acenafteen door TRISOPLAST overeenkomt met de adsorptie door zand.

Een hoge temperatuur, UV-bestraling of langdurige blootstelling aan de lucht heeft geen negatieve invloed op de afdichtende werking van TRISOPLAST. Langdurig bewaren lijkt eerder positief dan negatief te zijn.

De invloed van deformatie op de doorlatendheid van TRISOPLAST kon niet worden bepaald, omdat als gevolg van consolidatie tijdens de meting een vrijwel absolute dichtheid werd verkregen. Dit gedrag maakt TRISOPLAST zeer geschikt voor toepassing op ondergronden waar grote ongelijkmatige zettingen worden verwacht.

De verwerkbaarheid van TRISOPLAST levert geen problemen op zolang het vochtgehalte onder de uitrolgrens van 35% blijft. In de praktijk zal TRISOPLAST bij vochtgehaltes van ver onder de 20% worden verwerkt. Bij goede menging wordt een zeer

homogeen materiaal verkregen, waarvan de doorlatendheid een zeer geringe spreiding toont.

De relatieve ongevoeligheid voor variatie in de dichtheid, maakt TRISOPLAST minder gevoelig voor uitvoeringsfouten dan de gangbare minerale afdichtingsmaterialen.

De voordelen van TRISOPLAST zijn de zeer lage waterdoorlatendheid, de ongevoeligheid voor vuilstortpercolaat, de hoge plasticiteit, de verminderde kans op uitspoeling van de bentoniet door binding met het gel-vormende polymeer, de geringe eis die aan de verdichting wordt gesteld, (waardoor de kwaliteit van de afdichting veel minder afhankelijk is van de uitvoeringsnauwkeurigheid dan overeenkomstige minerale afdichtingsmaterialen) en de vrijwel absolute ondoorlatendheid bij hoge belastingen, waardoor dit materiaal zeer geschikt is voor onderafdichtingen van afvalstortplaatsen.

Toepassing van TRISOPLAST conform de huidige richtlijnen, levert een verlaging van de bodembelasting op met 30-90% ten opzichte van de gangbare materialen. Worden afdichtingslagen met TRISOPLAST ontworpen volgens de vigerende eisen, dan kan, ten opzichte van de gangbare zand-bentoniet afdichtingen, minstens 50% worden bespaard op constructiemateriaal. Toepassing van TRISOPLAST in zowel onder- als bovenafdichting, kan een extra stortvolume opleveren van minstens 4000 m³ per ha stortterrein, indien deze afdichtingen volgens de huidige ontwerpcriteria (maximale flux bij gegeven omstandigheden) wordt ontworpen. Wegens de grote plasticiteit is TRISOPLAST in het bijzonder geschikt als onderafdichtingsmateriaal in zettingsgevoelige gebieden en als bovenafdichtingsmateriaal op storten waar grote ongelijkmatige zettingen worden verwacht. Hiermee kan de locatiekeuze van stortterreinen worden verruimd.

1 Inleiding

In opdracht van General Industrial Developments (GID) Benelux B.V. heeft DLO-Staring Centrum een onderzoek verricht naar de geschiktheid van een speciale 'klei-gel' voor milieutechnische toepassingen. De klei-gel is een mengsel van bepaalde polymeren en bentoniet en ontleend zijn eigenschappen aan moleculaire bindingen tussen kleideeltjes en het polymeer. Deze binding voorkomt ook dat de bentoniet uit afdichtingslagen kan spoelen. Klei-gel neemt water volledig reversibel op. Zonder drukbelasting kan de klei-gel een veelvoud van zijn eigen gewicht aan water opnemen. Deze klei-gel is een Hongaarse vinding, waarvoor een octrooi-aanvraag is ingediend. De handelsnamen waaronder deze klei-gels verwerkt worden, zijn TONPLAST en TRISOPLAST. De variant waarbij de klei-gel gemengd met zand in droge en halfdroge toestand wordt verwerkt, wordt aangeduid als TRISOPLAST.

Voor toepassingen vanaf 1 maart, 1993, van nieuwe afdichtingmaterialen in onder- en bovenafdichtingen van afval- en reststofbergingen moet volgens de 'Richtlijnen onderafdichtingen voor afval- en reststofbergingen' (Staatsblad 55, 20 jan., 1993) worden aangetoond dat dit materiaal 'minstens gelijkwaardig' is aan bestaande minerale afdichtingsmaterialen. Als referentie geldt een afdichtingslaag van zand-bentoniet van 0,25 m, waar doorheen per etmaal 0,0001 m percoleert, als aan de bovenzijde een waterdruk van 50 mB en aan de onderzijde een onderdruk van 50 mB heerst. Daarnaast gelden nog eisen ten aanzien van de plasticiteit.

Onderzoeksresultaten dienen om de 'gelijkwaardigheid' aan te tonen en voorts voor de opstelling van een Protocol voor de toepassing, verwerking, keuring en acceptatie van TRISOPLAST-afdichtingen.

In dit rapport zijn de eisen omschreven waaraan minerale materialen moeten voldoen voor toepassing in afdichtingslagen. De onderzochte eigenschappen, de toegepaste methode en resultaten zijn in het hoofdstuk 4 gepresenteerd. In hoofdstuk 5 is TRISOPLAST vergeleken met andere geschikte minerale afdichtingsmaterialen.

2 Vereiste materiaaleigenschappen voor toepassing in afdichtingslagen

Nieuwe minerale afdichtingsmaterialen moeten minstens gelijkwaardig zijn aan bestaande zand-bentonietmengsels. Daartoe moet aan onderstaande eisen worden voldaan:

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 50mbar en aan de onderzijde een onderdruk van 50mar heerst. Afdichtingslagen van andere materialen moeten onder die omstandigheden gelijk of beter scoren. Voor onderafdichtingen geldt een referentie dikte van 0,5m, 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. Op onderafdichtingen worden statische belastingen tot ca. 1 MPa uitgeoefend.

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 (reversible) 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 bovenafdichtingslagen en tijdens de verwerking wordt (een deel) van het materiaal aan zuurstof blootgesteld. Het polymeer in de klei-gel mag niet oxyderen of biologisch worden aangetast. Ook moet het materiaal bestendig zijn tegen (meestal kortdurende) UV-straling. In onderafdichtingen komt het materiaal in contact met percolaat uit het stort, in bovenafdichtingen kan het materiaal via diffusie van opgeloste stoffen vanuit het stort in contact komen met componenten uit het percolaat.

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. Plantenwortels zijn in staat om zulke drempelwaarden te overschrijden. Ingroei van plantenwortels 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 aanleggen van afdichtingslagen is een continue proces waarbij het mengen van verschillende materialen bepalend is voor de kwaliteit van de afdichtingslaag. Daarbij is het van belang dat met de beschikbare apparatuur in korte tijd een goede, homogene en reproduceerbare menging wordt verkregen. Het mengsel mag tijdens het mengen, het transport en het uitspreiden 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

Van de materialen wordt de aard en samenstelling via steekproeven bepaald. Deze controle kan op het werk, tijdens de productie of het transport van het materiaal worden uitgevoerd. De kwaliteit van het monomeer voor de aanmaak van het polymeer zal door de fabrikant moeten worden gegarandeerd. Controle op de aard en kwaliteit van de gebruikte bentoniet en het zand kan volgens een nog door de CUR te Gouda uit te brengen aanbeveling gebeuren.

Speciale voorzieningen tijdens aanleg afdichtingslagen

Afdichtingslagen worden meestal in banen aangelegd. De aansluiting van de banen ('lasnaden') moet dezelfde eigenschappen hebben als het overige materiaal. Op de aansluitingen zal het mengsel tijdens de aanleg (iets) uitdrogen. Door wateropname en zwel van het materiaal dienen de aansluitingen in elkaar te vervloeien. Een ruime plasticiteisindex en zwelvermogen van het materiaal is hierbij van belang in verband met de noodzaak om de randen tijdens aanleg tijdelijk af te dekken.

Milieu belastende componenten, toxiciteit

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

3 Verkennend onderzoek

Verkennend onderzoek aan zuivere klei-gel is verricht naar de waterdoorlatendheid voor verschillende vloeistoffen, het gedrag van de toegevoegde polymeren en het gebruik van toeslagmaterialen.

Doorlatendheid

Door Grondmechanica Delft is de doorlatendheid van zuivere Tonplast voor water vuilstortpercolaat, benzine en diesel onderzocht (CO-312920/5, maart 1990, Wst/Msk).

Het betreft onderzoek bij verschillende bovenbelastingen (2 en 5 kN/m²). De doorstroomtijden van percolaat en andere vloeistoffen is onvoldoende geweest om het volledig poriënvolume te vullen met de testvloeistof. Het geometrisch gemiddelde van gemeten doorlatendheden aan verschillende monsters bedraagt voor water $8\text{--}9 \cdot 10^{-11}$ m/s.

De doorlatendheid van zand-bentoniet mengsels moet volgens de huidige eisen minder zijn dan $30 \cdot 10^{-11}$ m/s.

Toegevoegd polymeer

De 'Expert Opinion on Tonplast water sealing material' (Bela Johan National Institute for Public Health, Budapest, Oct. 2, 1990) betreft een onderzoek aan het polymeer.

Het polymeer is geanalyseerd en beoordeeld op toepassing voor de afdichting van een reservoir voor drinkwater. De toegestane limiet voor het monomeer in water (0,5 mg.m⁻³) wordt niet overschreden. Omdat geen kennis bestaat over biologische afbraak van het polymeer, wordt toepassing in drinkwaterreservoirs voorlopig veiligheidshalve ontraden.

De expert opinion van Dr G. Schraa, Vakgroep Microbiologie, Landbouwniversiteit Wageningen, en Dr W.M.J. van Gelder, hoofd Non-food processing, DLO-ATO, Wageningen.

De waarschijnlijkheid van biologische afbraak van het polymeer onder anaërobe omstandigheden bij pH 4,5-7,0 is beoordeeld aan de hand van informatie over het polymeer in de octrooiaanvraag, en vertrouwelijk verstrekte produktinformatie. De (voorlopige) conclusie is, dat het polymeer zeer waarschijnlijk niet dan wel niet meetbaar zal worden afgebroken.

Toeslagmaterialen

Door prof. O. Libor, Lorand Eotvos Universiteit, Afd. Chemische Technologie, Boedapest, is een onderzoek naar mogelijkheden voor toeslagmaterialen in Tonplast gedaan.

Doel van het onderzoek was na te gaan of Tonplast een continue structuur behoudt als toeslagmaterialen zoals cement, gips of grind worden gebruikt. Tonplast wordt kruimelig van structuur bij meer dan 1% cementtoevoeging. Grindtoeslag is mogelijk, zolang meer dan 25-50% Tonplast wordt gebruikt. De doorlatendheid van de mengsels van de klei-gel en toeslagmateriaal is niet gemeten.

4 Aanvullend onderzoek aan TRISOPLAST

GID is van plan TRISOPLAST toe te passen in onder- en bovenafdichtingen van afval- en reststofbergingen die aan IBC-criteria moeten voldoen. Het voordeel van TRISOPLAST boven de nu gangbare mengsels van zand en bentoniet is dat waarschijnlijk geen strenge eisen behoeven te worden gesteld aan de verdichting, terwijl de laagdikte waarschijnlijk geringer kan zijn, wat een besparing van afdichtingsmateriaal betekent. Omdat TRISOPLAST een nieuw materiaal is, dient volgens de 'Richtlijn onderafdichtingen voor afval- en reststofbergingen' (Staatsblad 1 maart, 1993) te worden aangetoond dat het materiaal 'minstens gelijkwaardig' is aan een zand-bentoniet afdichtingslaag met een dikte van 0,25 m waar doorheen niet meer dan 0,0001 m per dag percoleert als aan de bovenzijde van de laag een waterdruk van 50 mbar en aan de onderzijde een onderdruk van 50mbar heerst. Aanvullend onderzoek is daarom uitgevoerd naar:

- de doorlatendheid van TRISOPLAST in relatie tot de verdichtingsgraad en de testvloeistof;
- de samenhang tussen UV bestraling en doorlatendheid, en tussen bewaarduur bij aerobe omstandigheden en doorlatendheid;
- de samenhang tussen bewaarduur bij 30 °C en doorlatendheid;
- de samenhang tussen deformatie en doorlatendheid;
- de vocht retentie karakteristiek in de range 0 tot -150 mbar waterspanning en de samenhang met de luchtintreewaarde;
- de reversibiliteit en de omvang van de zwel- en krimp;
- de plasticiteitsindex;
- de samenhang tussen vochtgehalte en adhesie tussen TRISOPLAST en metalen en kunststof;
- de kationuitwisselcapaciteit (adsorptie);
- de adsorptiecapaciteit voor enkele organische verbindingen;
- de diffusiecoëfficiënt voor polaire stoffen (bromide als tracer);
- de chemische en biologische stabiliteit (levensduur) van het polymeer; (uitgevoerd en afzonderlijk gerapporteerd door DLO-ATO)
- de maximale helling van een verzadigde laag TRISOPLAST bij een bovenbelasting van 50 kPa (uitgevoerd en afzonderlijk gerapporteerd door Grondmechanica Delft, Delft).

4.1 Materiaal

TRISOPLAST is een mengsel van een kleimineraal, een polymeer en toeslagmateriaal.

Als kleimineraal is een natrium verrijkte bentoniet (pH-H₂O 10,5) gebruikt, die als poeder geleverd wordt. De polymeer wordt als 5% waterige oplossing geleverd (pH-H₂O 7,8).

Als toeslagmateriaal is gewassen, vochtig rivierzand gebruikt (pH-H₂O 7,6) van twee grofheidsklassen: grof, aangeduid als type 'M4' en een minder grof zand, aangeduid als type 'M2'. De textuur (korrelgrootteverdeling) is bepaald door het nat zeven van de zandfractie (tabel 1).

Tabel 1 Granulaire samenstelling gebruikt zand

Klasse	Klassengrootte	Type 'M4'	Type 'M2'
Klei en silt	0-50 µm	0,5%	0,4%
Fijn zand	50-210 µm	3,8%	2,3%
Grof zand	210-2000 µm	69,7%	83,9%
Grind	> 2000 µm	26,0%	13,4%

Zandtype 'M4' heeft een bijna twee maal zo grote grindfractie als zandtype 'M2'.

4.2 Aanmaak van TRISOPLAST

De Hongaarse ontwikkelaar van TONPLAST heeft een bepaalde, optimale mengverhoudingen van bentoniet, polymeer en zand gegeven. De mengsels kunnen op twee verschillende manieren worden gemaakt:

a) 'droge' menging.

Het vochtige zand wordt op een voorgeschreven wijze met de polymeer oplossing en bentoniet gemengd. Het resultaat is een kruimelig, korrelig materiaal.

b) 'natte' menging.

Het bentonietpoeder wordt machinaal met water tot een 'cream' geroerd waaraan de polymeeroplossing en het zand worden toegevoegd. Het resultaat is een erg plastische, compacte massa.

Een speciale mengvariant is onderzocht waarbij een speciaal droog mengsel van de kleigel met vochtige zand is gemengd. Het resultaat is een homogeen, los en kruimelig materiaal.

Om bepaalde dichtheden te krijgen is een hoeveelheid materiaal afgewogen en vervolgens tot een vooraf vastgesteld volume geperst.

4.3 Proefopzet

Voor droog aangemaakte standaard en verschaalde TRISOPLAST is eerst de relatie tussen verdichtbaarheid en vochtgehalte (de Proctor-curve) bepaald. Op grond hiervan zijn verschillende combinaties van dichtheid en vocht vastgesteld, waaraan de doorlatendheid is gemeten voor water en vuilstortpercolaat.

Tabel 2 Onderzochte eigenschappen en daarbij gebruikte methoden

Eigenschap	Soort mengsel	Methode
verdichtbaarheid	- standaard - verschaald - speciale variant	proctor test
Doorlatendheid (water, percolaat)	- droog geprepareerd standaard en verschaald - nat geprepareerd standaard en 'standaard plus 4% bentoniet'	falling head
Doorlatendheid (water)	- droog geprepareerd naar beïnvloeding door: UV-bestraling oxydatie verhoogde temperatuur (30 °C) - speciale variant	falling head
Doorlatendheid na deformatie	- standaard	falling head en triaxiaal proef
Vochtretentie krimpgedrag	- standaard	hangende waterkolom- krimp proef
Plasticiteitsindex	- standaard	uitrolgrens en vloeigrens bepaling
Wateropname en uitdrogings gedrag	- klei-gel	Enslin methode
Adhesie aan metaal en kunststoffen	- standaard	plakproef
Adsorptiecapacit. (CEC) en kationen-bezetting	- klei-gel	CEC en uitgewisselde kationen
Adsorptiecapaciteit van anorganische stoffen	- verschaald	microkolomsysteem HPLC-techniek
Diffusiecoëfficiënt	- standaard	half-cell methode

Voor het onderzoek naar de relatie tussen doorlatendheid en UV-blootstelling etc., de diffusiecoëfficiënt, vochtretentie karakteristiek en het krimp gedrag zijn standaard-TRISOPLAST monsters gebruikt die zijn verdicht tot 92% proctordichtheid.

Naast de waterdoorlatendheid van de speciale variant is ter vergelijking ook de doorlatendheid bepaald van monsters van zand en bentoniet (zonder polymeer) in verschillende mengverhoudingen. De vereiste dichtheid van deze is volgens de proctor-methode vastgesteld.

De plasticiteitsindex, adhesie, en adsorptie zijn aan standaard-TRISOPLAST monsters bepaald; het wateropnamegedrag en kationen uitwisselingscapaciteit is aan de klei-gel zonder toeslagmateriaal bepaald.

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de onderzochte parameters en de toegepaste methoden.

4.4 Methoden

4.4.1 Proctorproef

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 RAW, Bepaling, 1990, proef 5.1) 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 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.

4.4.2 Doorlatendheid

De verzadigde waterdoorlatendheid van TRISOPLAST 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 (fig. 1) 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:

$$K = \frac{a \cdot d}{A \cdot \Delta t} * \ln \frac{h(1)}{h(2)} \quad (1)$$

Hierin is:

K	= doorlatendheid	(m.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:

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

De metingen worden eerst uitgevoerd met water totdat de gemeten doorlatendheden bij veranderende gradiënten constant blijven. Daarna wordt vuilstortpercolaat toegevend en gedurende 3 maanden gemeten. Aanvullend is van enkele monsters het vuilstortpercolaat vervangen door verdunde zoutzuur (pH 1,5) of natronloog (pH 10) en is de doorlatendheid weer gemeten. De doorlatendheid is in een proef op veldschaal getoetst. Daartoe is op het stortterrein 'Spinder' te Tilburg een proefstrook aangelegd, waar de doorlatendheid in situ is gemeten en aan ongeroerde monsters met een diameter van 0,3 m.

4.4.2.1 UV-proef

De invloed van UV-straling op de doorlatendheid van standaard-TRISOPLAST is bepaald door het proefmateriaal zo lang aan de zonnestraling bloot te stellen tot een UV belasting die overeenkomt met de UV-belasting gedurende 5 dagen in de zomer. Voor de vaststelling van de UV-belasting zijn actuele meteorologische gegevens gebruikt. Voor de vaststelling van de gewenste UV-belasting is de gemiddelde zomerbelasting van de afgelopen 10 jaar in Wageningen gebruikt.

Voor de proef is het materiaal in een dunne laag uitgespreid en aan zonlicht blootgesteld. Dagelijks zijn verdampingsverliezen gecompenseerd. Gedurende de bestralingsperiode heeft het proefmateriaal in totaal 720 J.cm⁻² ontvangen. Aansluitend is de doorlatendheid voor water bepaald (zie 3.4.2.).

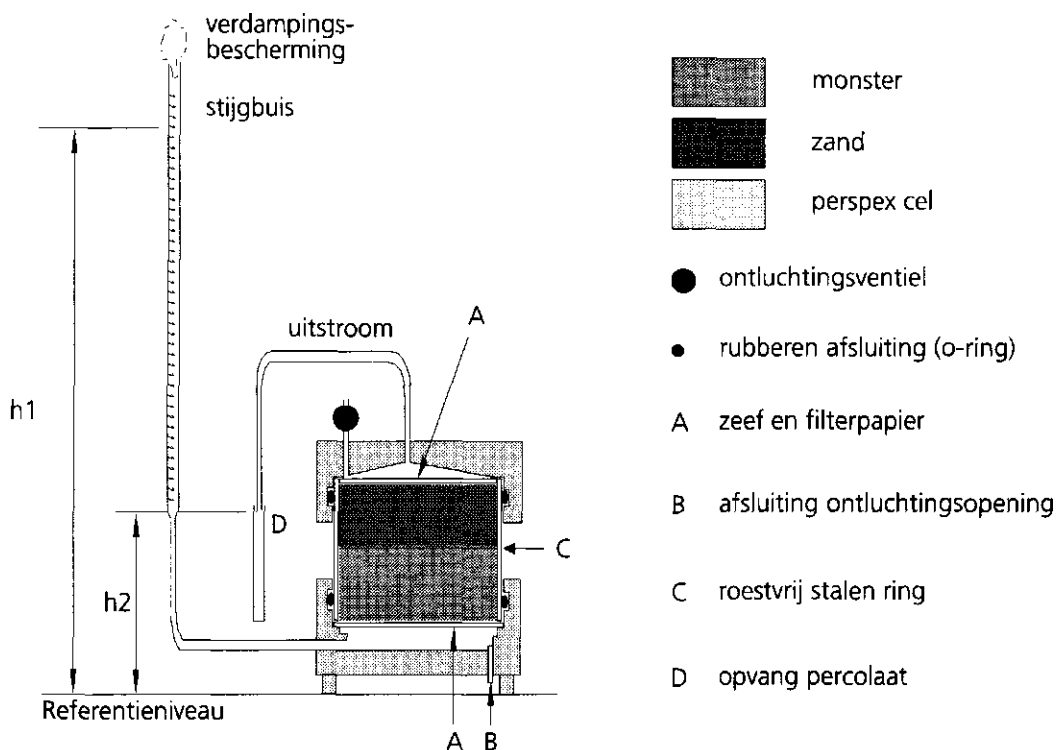


Fig. 1 Meetopstelling voor de 'falling head' methode

4.4.2.2 Oxydatieproef

De invloed van oxydatie aan lucht op de doorlatendheid van standaard-TRISOPLAST is bepaald door het materiaal in een dunne laag uit te spreiden en aan de lucht bloot te stellen. Het mengsel is in een vochtige omgeving geplaatst, om uitdroging te voorkomen. De duur van deze proef is drie maanden en even lang als van de UV-proef. Eventuele oxidatie-effecten bij de UV-proef kunnen dus worden geëlimineerd. Na afloop van de oxydatie-fase is de doorlatendheid voor water gedurende 3 maanden gemeten (zie 3.4.2.).

4.4.3 Deformatieproef

De samenhang tussen deformatie van standaard-TRISOPLAST met een bekende dichtheid en de waterdoorlatendheid is bepaald. Een monster is door gerichte druk gedeformeerd, zonder daarbij de dichtheid te veranderen. De doorlatendheid is voor en na vervorming met behulp van de falling head methode gemeten.

Voor de proef is een triaxiaal opstelling volgens Boels (1977) gebruikt. Daartoe wordt een monster in een cilinder op de gewenste dichtheid geperst. Na verwijdering van de cilinder wordt het monster omhuld met een latexmembraan en aan de boven- en onderzijde afgedekt met een poreuze steen en in een triaxiaalcel geplaatst. Het latex-

membraan sluit het doorlatendheids meetcircuit lucht- en waterdicht af van de vloeistof in de drukkamer. De drukcel is met water gevuld en wordt op een druk van ca. 3 Bar gehouden, wat vergelijkbaar is met de condities onder een vuilstort. Na verzadiging van het monster is de doorlatendheid volgens de falling head methode bepaald. Aansluiten is het monster gedeformeerd en is de doorlatendheid opnieuw gemeten. Deze procedure wordt enkele keren herhaald voor de bepaling van de relatie tussen deformatie en doorlatendheid.

4.4.4 Waterretentie en krimpkarakteristiek

De gasdichtheid van het materiaal is uit de waterretentie-eigenschappen afgeleid. De waterretentiefunctie beschrijft de capaciteit van materiaal om water in de poriën vast te houden bij onderdruk in het poriewater. Door bepaling van de luchtintree-waarde wordt het watergehalte vastgesteld waarbij het materiaal juist luchtdoorlatend wordt. Plantenwortels groeien pas in een poreus materiaal, als naast water lucht aanwezig is, terwijl stortgas kan ontsnappen als althans een deel van de poriën met lucht is gevuld.

De waterretentie van poreus materiaal wordt met behulp van de methode van de hangende water kolom bepaald. TRISOPLAST is daartoe in een metalen cilinder op de gewenste dichtheid geperst, op een keramische plaat geplaatst en verzadigd. Gedurende de metingen is de onderdruk stapsgewijs verlaagd en is de verandering van de vochtinhoud van het monster gemeten.

TRISOPLAST toont sterk zwellende eigenschappen. De wateropname gaat gepaard met een toename van het volume. Wordt aan dit gezwollen materiaal vocht onttrokken, dan krimpt het monster. Na een krimpfase waarbij het waterverlies recht evenredig is met de volumeverandering, wordt het onttrokken water door lucht vervangen. De vochttoestand waarbij voor het eerst lucht in het materiaal dringt (de luchtintreewaarde) is met behulp van een krimp proef bepaald. Hierbij is gezwollen materiaal met een Saranfilm omhuld. Deze 'film' is doorlatend voor waterdamp, maar niet voor vloeibaar water. De volumeverandering van de monsters is via van onderwaterweging bepaald. Zodra verdampingsverliezen en krimpvolumes niet meer gelijk zijn, treedt lucht in het materiaal.

4.4.5 Enslin-proef

Het wateropnamegedrag van TRISOPLAST is met behulp van de Enslin-test bepaald. Omdat zand geen wateropnemende eigenschappen heeft, is deze proef met zuivere klei-gel uitgevoerd.

De klei-gel uit standaard-TRISOPLAST is in een dun laagje verdeeld op de poreuze keramische plaat van het Enslin-apparaat. De poreuze plaat is verbonden met een horizontaal liggend capillair, waaruit bij een waterspanning van 0 mbar water kan

worden opgenomen. De hoeveelheid opgenomen water door het proefmateriaal is op verschillende momenten gemeten. Na 72 uur is een proefserie beëindigd. Daarna is het materiaal aan de lucht gedroogd, tot poeder fijngewreven en opnieuw in een dun laagje weer op de keramische plaat gebracht, waarna de proef is herhaald. Hiermee is het reversibel gedrag bestudeerd.

4.4.6 Plasticiteitsindex

De plasticiteitsindex is gedefinieerd als het verschil in watergehalte bij vloeigrens en uitrolgrens. De plasticiteitsindex wordt als gew.% van de droge massa berekend. De grootte van het getal karakteriseert de range aan vochtgehaltes, waarbinnen het materiaal zich plastisch gedraagt. De bepalingen zijn aan standaard-TRISOPLAST gedaan.

4.4.6.1 Uitrolgrens

De uitrolgrens is gedefinieerd als het watergehalte van een materiaal, waarbij het nog net zonder te scheuren met de hand op een poreuze stenen plaat tot een rolletje van ca. 0,003 m diameter kan worden uitgerold. Het vochtgehalte wordt bepaald door het proefmateriaal 24 uur in een droogstoof bij 105 °C te drogen. De uitrolproef is 10 keer herhaald.

4.4.6.2 Vloeigrens

De vloeigrens is gedefinieerd als het watergehalte, waarbij materiaal van de plastische toestand over gaat in een vloeibare toestand. De vloeigrens wordt bepaald met het toestel van Cassagrande. Hierbij wordt in het proefmonster met een spatel een groef aangebracht van 0,002 m breed en 0,012 m diep. Daarna wordt het monster in het apparaat onderworpen aan een soort standaard valproef. De vloeigrens is bereikt als het groefje binnen 10-12 seconden dichtvloeit. Het daarbij behorende vochtgehalte wordt via droging en weging bepaald.

4.4.7 Adhesie

De adhesie tussen TRISOPLAST en metaal en kunststoffen bepaalt de praktische verwerkingsmogelijkheden. De adhesie is bepaald door TRISOPLAST bij verschillende vochtgehaltes in contact te brengen met de materialen en te bepalen hoeveel materiaal blijft kleven. Aansluitend zijn de watergehaltes nauwkeurig bepaald via weging en droging.

4.4.8 Adsorptiecapaciteit (CEC) en kationenbezetting

De adsorptiecapaciteit van TRISOPLAST is een maat voor de hoeveelheid electrochemische bindingsplaatsen voor kationen. De kationenbezetting is altijd lager dan de totale adsorptiecapaciteit van een mineraal materiaal omdat ook waterstofionen worden gebonden. De kationenbezetting van een kleimineraal bepaalt de fysisch-chemische eigenschappen.

De kationenbezetting van de klei-gel is bepaald door uitwisseling van alle aanwezige kationen (aluminium, ijzer, mangaan, calcium, magnesium, natrium en kalium) tegen bariumionen. De ionenconcentraties zijn met behulp van de ICP-AES (Induction Coupled Plasma - Atom Emission Spectrophotometer) bepaald. In een tweede stap worden alle gebonden bariumionen uitgewisseld tegen magnesiumionen. Door de hoeveelheid voor deze uitwisseling gebruikte magnesiumionen te meten, wordt de adsorptiecapaciteit bepaald.

4.4.9 Adsorptieproces

De kinetiek van de sorptieprocessen van organische microverontreinigingen aan TRISOPLAST is bepaald met behulp van een microkolomsysteem volgens Velthorst (1990). Daarbij wordt een eluens, dat bepaalde modelstoffen bevat, met een constante flux van 0,1 ml/min geperst door een kolom (lengte 25 cm, diameter 4,6 mm) gevuld met de te onderzoekende TRISOPLAST. De concentratie van de modelstoffen in de instromende (eluens) en uitstromende vloeistof (effluens) wordt gelijktijdig gemeten. De totale adsorptie is het verschil tussen de hoeveelheid opgeloste stof die in de kolom stroomt en de hoeveelheid die er weer uit is gestroomd. De detectie van de modelstoffen vindt plaats met behulp van een HPLC (High Pressure Liquid Chromatograph).

De doorbraakcurve (verloop van de concentratie in het effluens) toont het vertraagde transport van de modelstoffen door de kolom als gevolg van adsorptieprocessen. Om de totale adsorptie van een bepaalde stof te meten wordt de adsorptie en de desorptie bepaald. Het verloop van de concentratie van de te onderzoeken stof in het effluens wordt bij beide proeven bepaald en in een grafiek uitgezet tegen het doorstroomde volume vloeistof. De adsorptiecurve is monotoon stijgend en bereikt een maximum, de desorptie curve is een monotoon dalende curve en bereikt een minimum. Bij het snijpunt van beide curven wordt het doorbraakvolume afgelezen. De totale adsorptie is gelijk aan de totale stofinhoud van het doorbraakvolume. De effectieve porositeit van de proefkolom wordt bepaald uit de adsorptie- en desorptiecurve van een nitraat-oplossing. Omdat nitraat niet wordt geadsorbeerd, wordt op het snijpunt van beide curven het effectieve volume poriën afgelezen.

Als karakteristieke modelstoffen zijn toluen, etylbuteen, acenafteen en butylbenzeen gekozen. Omdat de doorlatendheid van de verschaalde TRISOPLAST lager is dan voor deze methode vereist, is een extra verschaalde TRISOPLAST met een erg laag bentoniet gehalte gebruikt. Daarnaast is eenzelfde proef uitgevoerd aan zuiver zand.

Uit de twee verschillende doorbraakcurven is de adsorptiecapaciteit van standaard-TRISOPLAST berekend.

4.4.10 Diffusie

Diffusie is de verplaatsing van stoffen in een materiaal als gevolg van beweging van molekulen bij afwezigheid van een massa stroming. Diffusie wordt gekarakteriseerd door de diffusiecoëfficiënt, die onafhankelijk is van de stofconcentratie, maar afhangt van de stof zelf, de porositeit en de geometrie van het poriënstelsel. De diffusiecoëfficiënt van verschillende stoffen in poreuze media verhouden zich als hun diffusiecoëfficiënt in water. Het bromide-ion is gebruikt voor de bepaling van de diffusiecoëfficiënt.

De diffusiecoëfficiënt van bromide-ionen in standaard-TRISOPLAST is met behulp van de half-cel methode (Yong et al., 1992) bepaald. Hierbij worden twee gelijke roestvrij stalen ringen gevuld met de standaard-TRISOPLAST van gelijke dichtheid. In één cel is een oplossing van kalium-bromide gebracht. Beide cellen worden na verzadiging met water samengevoegd, waarbij een goed contact tussen belangrijk is. In de verzadigde toestand diffunderen bromide-ionen door het contactvlak van de cel met de hoge concentratie naar de cel met de lage concentratie tot de bromideconcentraties in beide cellen gelijk is. Aan verschillende monsters is op verschillende tijdstippen de bromide verdeling bepaald. Uit deze verdeling is de diffusiecoëfficiënt voor bromide in TRISOPLAST berekend.

4.5 Resultaten

4.5.1 Proctorproef

De meetwaarden van de proctorproef aan de standaard en verschaald TRISOPLAST staan in tabel 3; de proctorcurven en -dichtheden in figuur 3. Voor beide onderzochte mengsels is een complete proctor-curve voor het zand type 'M4' samengesteld. Van het zand type 'M2' zijn voor iedere mengsel 3 proctorwaarden bepaald en vergeleken met die van type 'M4'.

Uit tabel 3 blijkt dat het zandtype geen invloed heeft op de verkregen dichtheid. In het vervolgonderzoek is daarom volstaan met één proctorwaarde. Alle verdere proeven in dit onderzoek zijn met zandtype 'M2' uitgevoerd. De proctordichtheid van standaard-TRISOPLAST is 1680 kg.m^{-3} bij een vochtgehalte van 16 gew.%, van de verschaalde TRISOPLAST 1720 kg.m^{-3} bij 16 gew.% vocht.

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. Standaard-TRISOPLAST ligt met een proctordichtheid van 1680 kg.m^{-3} net onder deze richtlijn, maar het verschil is verwaarloosbaar klein.

Tabel 3 Vochtgehalte van standaard en verschraalde TRISOPLAST en bijbehorende dichtheid (kg.m^{-3}) volgens de Proctor-methode bij twee verschillende zandtypen.

vocht (gew.%)	Standaard-TRISOPLAST		Verschraalde TRISOPLAST	
	zandtype		zandtype	
	'M2'	'M4'	'M2'	'M4'
9,5				1620
11,4				1720
12,3		1650		
12,4			1700	
14,4				1710
15,0	1690			
15,3				1700
15,8		1690		
16,3		1680		
17,0			1720	
17,3				1670
19,2	1680	1660		
19,9				1670
20,4		1660		
21,9		1610		
23,5	1590			
23,6			1580	1580
25,6		1550		
26,8		1500		
29,4				1450
32,8		1370		
34,1				1360
38,7		1270		

De verschraalde TRISOPLAST ligt met een proctordichtheid van 1720 kg/m^3 boven de richtwaarde.

Op basis van de uitkomsten van de proctorproef zijn voor alle volgende proeven de dichtheden gekozen. Tabel 4 geeft een overzicht van de proefvarianten.

Doorlatendheidsmetingen voor verschillende testvloeistoffen zijn bij 59 tot 100% proctordichtheid verricht.

4.5.2 Doorlatendheid

In tabel 4 zijn de omstandigheden omschreven waaronder de doorlatendheid is gemeten van verschillende varianten (proeven met A t/m D) voor water en vuilstort-percolaat. De resultaten staan in tabel 5. De metingen zijn in duplo uitgevoerd. Voor iedere testvloeistof is de gemeten doorlatendheid per meetcel en het geometrisch gemiddelde per variant vermeld. De duplos van alle varianten tonen een goede reproduceerbaarheid. De gemeten verschillen tussen de duplos van Tonplast-zand

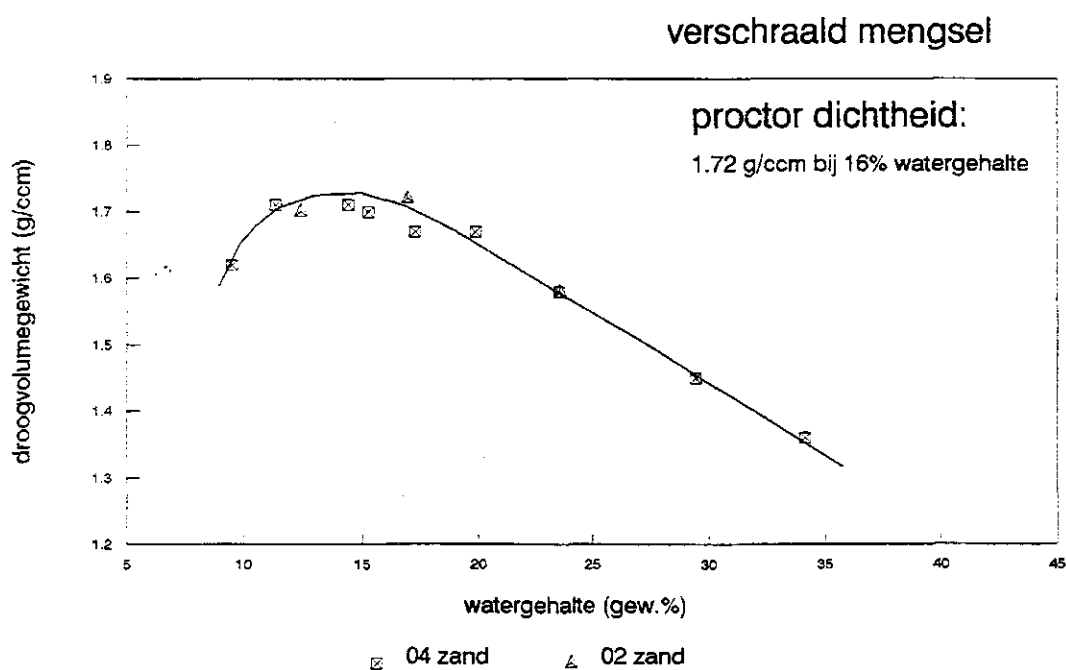
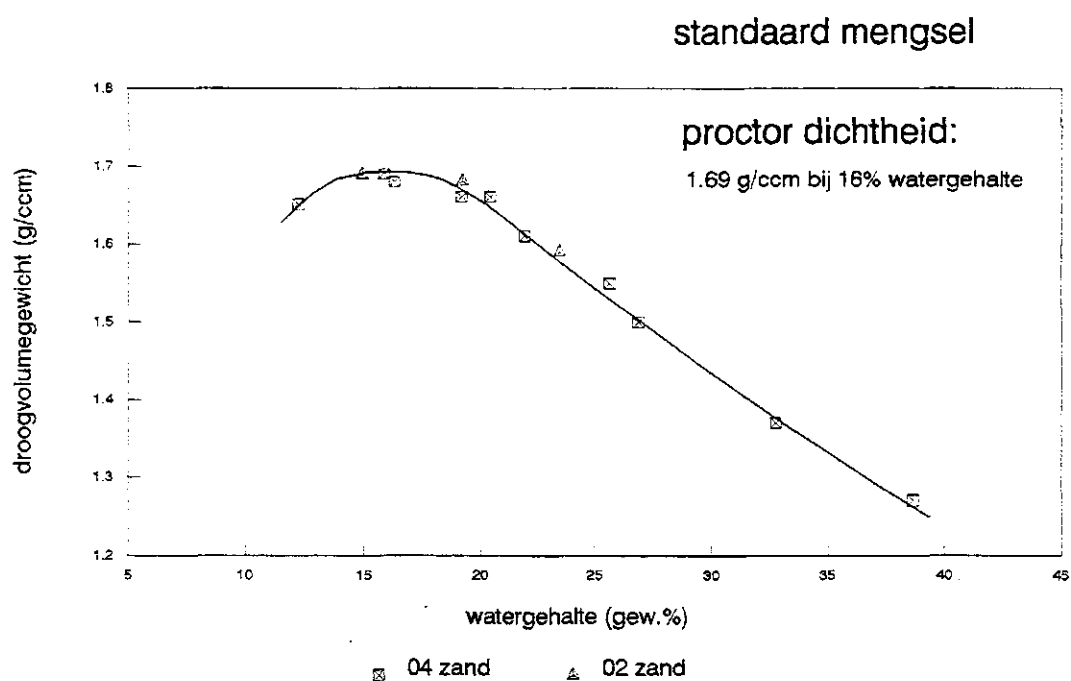


Fig. 2 Proctorcurven van TRISOPLAST-zand mengsels

mengsels zijn maximaal $2,0 \cdot 10^{-11}$ m/s voor water en $2,4 \cdot 10^{-11}$ m/s voor vuilstort-percolaat.

De laagste doorlatendheid voor water is gemeten aan duplos van standaard-TRISOPLAST met proctordichtheden tussen 92 tot 100%: gemiddeld $4,3 \cdot 10^{-11}$ m/s.

Tabel 4 Droogvolumegegewicht van verschillende monsters waarvan de doorlatendheid is gemeten

Mengsel	Dichtheid (kg.m ⁻³)	Vocht (gew.%)	Proctor-dichtheid (%)	Proef
Standaard	1690	16	100,0	A , B
	1680	20	99,4	A , B , C
	1560	16	92,3	A , B
	1560	25	92,3	A , B , C , D , E , F , G
	1230	40	72,8	A , B
	1000	63	59,2	A , B
*)	1000	63	59,2	A , B
**)	1000	75	----	A , B
Verschraald	1720	16	100,0	A , B
	1670	20	97,1	A , B
	1570	25	91,3	A , B
	1340	35	77,9	A , B

verklaring symbolen:

*) 'nat' gemengd materiaal

**) 'nat' gemengd materiaal met 4% hoger bentonietgehalte dan het standaard-mengsel

verklaring proeven:

A = doorlatendheden voor water

B = doorlatendheden voor vuilstortpercolaat

C = doorlatendheden bij verschillende pH

D = doorlatendheden voor water bij verschillende beïnvloedingen

E = doorlatendheden in samenhang met deformatie

F = waterretentie en krimpgedrag

G = diffusie van bromide

Bij overeenkomstige proctordichtheid is de gemiddelde doorlatendheid van het verschraald mengsel $5,9 \cdot 10^{-11}$ m/s. Hoewel doorlatendheid van de verschraalde TRISOPLAST iets hoger is, is het verschil niet groot. De doorlatendheid van de minst verdichte monsters (met het hoogste vochtgehalte ingebouwd) van beide 'droog' aangemaakte TRISOPLAST monsters is $11 \cdot 10^{-11}$ m/s en $16 \cdot 10^{-11}$ m/s. Deze doorlatendheid is circa 2,5 keer zo hoog als van meer verdicht materiaal. De gemeten doorlatendheid van de weinig verdichte varianten is vergelijkbaar met die van de 'nat' geprepareerde varianten. De doorlatendheid voor water van de 'droog' gemengde monsters met een laag droogvolumegegewicht is gemiddeld $14 \cdot 10^{-11}$ m/s, die van de 'nat' gemengde monsters $19 \cdot 10^{-11}$ m/s.

De doorlatendheid van standaard-TRISOPLAST (1560 kg/m^3) die met minder vocht is aangemaakt dan voor een maximale dichtheid nodig is, is gemiddeld $6,9 \cdot 10^{-11}$ m/s en is hoger dan wanneer deze met meer vocht wordt aangemaakt (gemiddelde $4,3 \cdot 10^{-11}$ m/s).

Uit tabel 5 blijkt dat de doorlatendheid van alle varianten voor vuilstortpercolaat duidelijk lager is dan voor water. Het verschil is bij de verschraalde TRISOPLAST in het algemeen groter dan bij vergelijkbare varianten van standaard-TRISOPLAST. De doorlatendheid van de meer verdichte varianten (92-100% proctordichtheid) is gemiddeld $2,5 \cdot 10^{-11}$ m/s lager voor vuilstortpercolaat dan voor water, dit is voor de

Tabel 5 Resultaten doorlatendheid voor water en vuilstortpercolaat

mengsel	Dichtheid (kg * m ⁻³)	Water gemeten (m * s ⁻¹)	Geometrisch gemid. K	Percolaat gemeten K (m * s ⁻¹)	Geometrisch gemid. K
Standaard	1690	5,5 * 10 ⁻¹¹		1,8 * 10 ⁻¹¹	
		4,2 * 10 ⁻¹¹	4,8 * 10 ⁻¹¹	4,2 * 10 ⁻¹¹	2,7 * 10 ⁻¹¹
	1680	3,5 * 10 ⁻¹¹		1,0 * 10 ⁻¹¹	
		4,0 * 10 ⁻¹¹	3,7 * 10 ⁻¹¹	1,0 * 10 ⁻¹¹	1,0 * 10 ⁻¹¹
m.v.	1560	3,9 * 10 ⁻¹¹		1,8 * 10 ⁻¹¹	
		4,7 * 10 ⁻¹¹	4,3 * 10 ⁻¹¹	1,6 * 10 ⁻¹¹	1,7 * 10 ⁻¹¹
	1560	6,9 * 10 ⁻¹¹		2,8 * 10 ⁻¹¹	
		7,0 * 10 ⁻¹¹	6,9 * 10 ⁻¹¹	3,0 * 10 ⁻¹¹	2,9 * 10 ⁻¹¹
	1230	1,1 * 10 ⁻¹⁰		5,4 * 10 ⁻¹¹	
		1,1 * 10 ⁻¹⁰	1,1 * 10 ⁻¹⁰	6,3 * 10 ⁻¹¹	5,8 * 10 ⁻¹¹
n.g.	1000	1,9 * 10 ⁻¹⁰		1,3 * 10 ⁻¹⁰	
		1,7 * 10 ⁻¹⁰	1,8 * 10 ⁻¹⁰	1,3 * 10 ⁻¹⁰	1,3 * 10 ⁻¹⁰
n.g.4%	1000	1,8 * 10 ⁻¹⁰		1,2 * 10 ⁻¹⁰	
		2,0 * 10 ⁻¹⁰	1,9 * 10 ⁻¹⁰	1,2 * 10 ⁻¹⁰	1,2 * 10 ⁻¹⁰
Verschraald	1720	5,2 * 10 ⁻¹¹		2,4 * 10 ⁻¹¹	
		5,8 * 10 ⁻¹¹	5,5 * 10 ⁻¹¹	2,4 * 10 ⁻¹¹	2,4 * 10 ⁻¹¹
	1670	5,7 * 10 ⁻¹¹		2,3 * 10 ⁻¹¹	
		5,7 * 10 ⁻¹¹	5,7 * 10 ⁻¹¹	2,4 * 10 ⁻¹¹	2,3 * 10 ⁻¹¹
	1570	6,5 * 10 ⁻¹¹		3,0 * 10 ⁻¹¹	
		6,2 * 10 ⁻¹¹	6,3 * 10 ⁻¹¹	3,2 * 10 ⁻¹¹	3,1 * 10 ⁻¹¹
	1340	1,6 * 10 ⁻¹⁰		9,5 * 10 ⁻¹¹	
		1,6 * 10 ⁻¹⁰	1,6 * 10 ⁻¹⁰	9,3 * 10 ⁻¹¹	9,4 * 10 ⁻¹¹
m.v.	minder dan het optimale vochtgehalte bij preparatie van het monster				
n.g.	'nat' gemengd, verder als standaardmengsel				
n.g.4%	'nat' gemengd, als standaardmengsel plus 4% bentoniet				

vergelijkbare varianten van het verschraalde mengsel gemiddeld $3,2 \cdot 10^{-11}$ m/s. Een sterkere reductie van de doorlatendheid is waargenomen bij de minder verdichte 'droog' gemengde varianten en de 'nat' gemengde varianten; de verlagingen varieert van $5,0 \cdot 10^{-11}$ tot $7,0 \cdot 10^{-11}$ m/s.

Uit de metingen blijkt een duidelijke samenhang tussen het droogvolumegegewicht en de doorlatendheid (fig. 3). Deze relatie geldt zowel voor water als voor vuilstortpercolaat als testvloeistof, alleen is dit bij percolaat iets minder uitgesproken. Omdat bij alle mengsels de monsters met een hoog droogvolumegegewicht de laagste doorlatendheden hebben, in ieder geval duidelijk geringere doorlatendheid dan die van de 'nat' gemengde varianten, kan worden geconcludeerd, dat een hoge verdichting van het materiaal belangrijk is. Grotere dichtheden dan 92%-proctordichtheid hebben echter geen significante invloed op de doorlatendheid.

In fig. 3 is ter vergelijking de doorlatendheid voor water gegeven van een zand-bentoniet mengsel waaraan geen polymeer is toegevoegd. Deze variant heeft een dichtheid van 1560 kg/m^3 en is bij een vochtgehalte van 25 gew.% geprepareerd. De door-

latendheid van het zand-bentoniet monster is gemiddeld $9,5 \cdot 10^{-11}$ m/s, dus ruim twee keer zo hoog als van TRISOPLAST.

Voor een bovenafdichting is volgens Hoeks et al. (1990) een flux van minder dan 0,0001 m/dag bij een gradiënt (i) van 5 vereist en voor een onderafdichting een flux van minder dan 0,000055 m/dag bij een gradiënt van 2,6. Dit betekend een doorlatendheid van minder dan $23 \cdot 10^{-11}$ m/s. De gemeten doorlatendheden voor water en vuilstortpercolaat van alle varianten voldoen ruim aan deze eis. De doorlatendheid van de zeer plastische mengsels ($1300 - 1000 \text{ kg/m}^3$) liggen voor water als testvloei-stof in de buurt van deze grenswaarde (zie tab. 5). De doorlatendheid voor water van het zand-bentoniet mengsel zonder polymeer ligt ook onder de grenswaarde.

4.5.2.1 UV-proef

Na blootstelling aan de dosis UV bestraling is het materiaal in de meetcellen ingebouwd en is gedurende 3 maanden de verzadigde doorlatendheid voor water gemeten. De metingen zijn in drie-voud uitgevoerd (tabel 6). De doorlatendheid van aan UV straling blootgesteld materiaal is $0,59 \cdot 10^{-11}$ m/s en duidelijk lager dan voor de UV-belasting.

Tabel 6 Doorlatendheden van standaard-TRISOPLAST bij verschillende beïnvloedingen

proef	dichtheid ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	doorlatendheid ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	geometrisch gemiddelde
Doorlatendheid niet beïnvloed materiaal	1560	$3,9 \cdot 10^{-11}$ $4,7 \cdot 10^{-11}$	$4,3 \cdot 10^{-11}$
UV-proef	1560	$5,7 \cdot 10^{-12}$ $5,5 \cdot 10^{-12}$ $6,5 \cdot 10^{-12}$	$5,9 \cdot 10^{-12}$
Oxydatie proef	1560	$8,1 \cdot 10^{-12}$ $7,3 \cdot 10^{-12}$ $7,8 \cdot 10^{-12}$	$7,7 \cdot 10^{-12}$
temperatuur proef ^{*)}			
K_{start}	1560	$4,1 \cdot 10^{-11}$ $4,4 \cdot 10^{-11}$ $4,2 \cdot 10^{-11}$	$4,2 \cdot 10^{-11}$
K_{20}	1560	$1,2 \cdot 10^{-11}$ $1,2 \cdot 10^{-11}$ $1,1 \cdot 10^{-11}$	$1,2 \cdot 10^{-11}$

^{*)} K_{start} = K gemeten bij 20 °C laboratoriumtemperatuur
 K_{20} = doorlatendheid bij 30 °C, herleid naar 20 °C

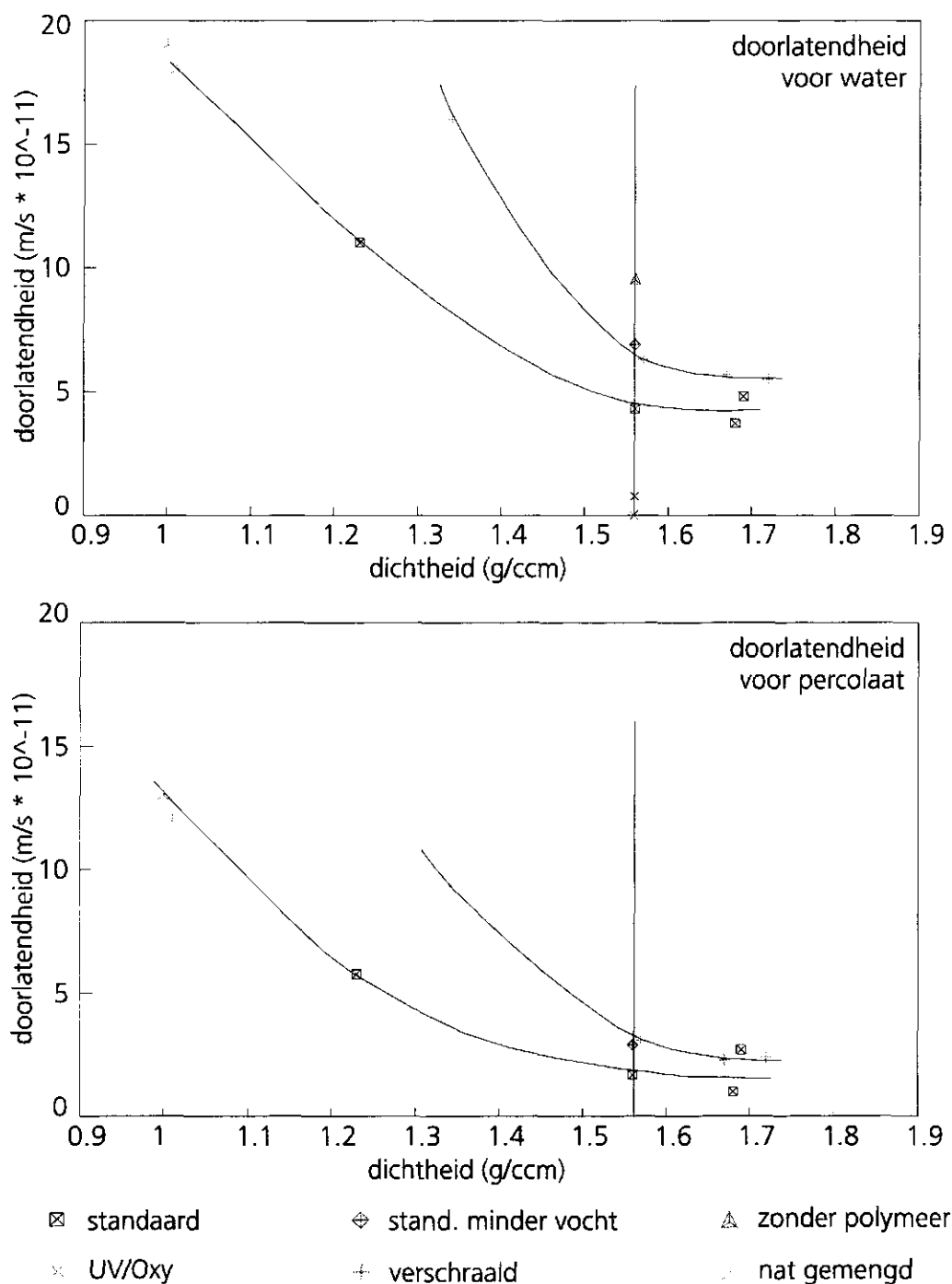


Fig. 3 Samenhang tussen droog-volumegegewicht en doorlatendheden voor water en vuil-stortpercolaat.

In figuur 3 zijn alle resultaten van doorlatendheidsmetingen weergegeven. Hierin kan de gemiddelde doorlatendheid van de aan UV blootgestelde standaard-TRISOPLAST

worden vergeleken met de doorlatendheid van de overige varianten met eenzelfde droogvolumege wicht. De meetwaarden liggen op de loodrechte gestippelde lijn. Het aan UV straling blootgestelde materiaal heeft de laagste meetwaarden. Het lijkt niet waarschijnlijk dat UV straling enig effect heeft. Wellicht moet rekening worden gehouden met de duur van de 'voorbehandeling', waarin een langzaam verlopend bindingsproces tussen bentoniet en polymeer is optreedt.

4.5.2.2 Oxydatieproef

De duur van de oxydatie proef is drie maanden en gelijk aan die van de UV-proef. Na expositie aan de lucht is het materiaal in de doorlatendheidsmeetcellen ingebouwd en is de verzadigde doorlatendheid voor water gedurende 3 maanden bepaald. De metingen zijn in drie-voud uitgevoerd. De resultaten zijn in tabel 6 weergegeven. De doorlatendheid van het materiaal vooraf aan de proef (gem. $7,7 \cdot 10^{-11} \text{ m.s}^{-1}$) is hoger dan de doorlatendheid na de oxidatie-proef ($3,5 \cdot 10^{-11} \text{ m.s}^{-1}$). De doorlatendheid van het materiaal dat aan lucht is blootgesteld is gelijk aan de doorlatendheid na de UV-belasting. Waarschijnlijk heeft langdurige blootstelling aan de lucht geen invloed op de doorlatendheid. Andere processen zijn wellicht verantwoordelijk voor de lagere doorlatendheid.

4.5.2.3 Temperatuurproef

De temperatuur proef is in drie-voud uitgevoerd. Eerst is de doorlatendheid voor water bepaald bij een omgevingstemperatuur van ca. 20°C (K_{start}). Vervolgens zijn de meetcellen in een warmtekast geplaatst en continu op gemiddeld 30°C gehouden. De doorlatendheid (K_{20}) is gedurende de meetperiode van 100 dagen meerdere keren bepaald en herleid naar de doorlatendheid bij 20°C (tabel 6). Het verloop van de doorlatendheid gedurende de meetperiode is in figuur 4 weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat de doorlatendheid gecorreleerd is aan de temperatuur. De gemeten K_{start} waarde is gemiddeld $4,2 \cdot 10^{-11} \text{ m.s}^{-1}$, vergelijkbaar met de doorlatendheid zonder beïnvloeding ($4,3 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$). Na verhoging van de omgevingstemperatuur van de meetcellen is binnen ca. 20 dagen een nieuw niveau op gemiddeld $1,4 \cdot 10^{-11} \text{ m.s}^{-1}$ bij 30°C en herleid naar 20°C , $1,2 \cdot 10^{-11} \text{ m.s}^{-1}$. Het blijkt dat de voor viscositeit gecorrigeerde K_{20} lager is dan de doorlatendheid vooraf aan blootstelling aan een verhoogde temperatuur. De oorzaak kon in deze proef niet worden achterhaald. Als ingesloten lucht aanwezig is, kan dit bij verhoogde temperatuur expanderen en de effectieve doorstromingsoppervlakte beperken waardoor de doorlatendheid afneemt (Hopmans & Dane, 1986). Waarschijnlijk kan ook een verandering van de binding tussen polymeer en klei in de TRISOPLAST een lagere waterdoorlatendheid heeft veroorzaakt.

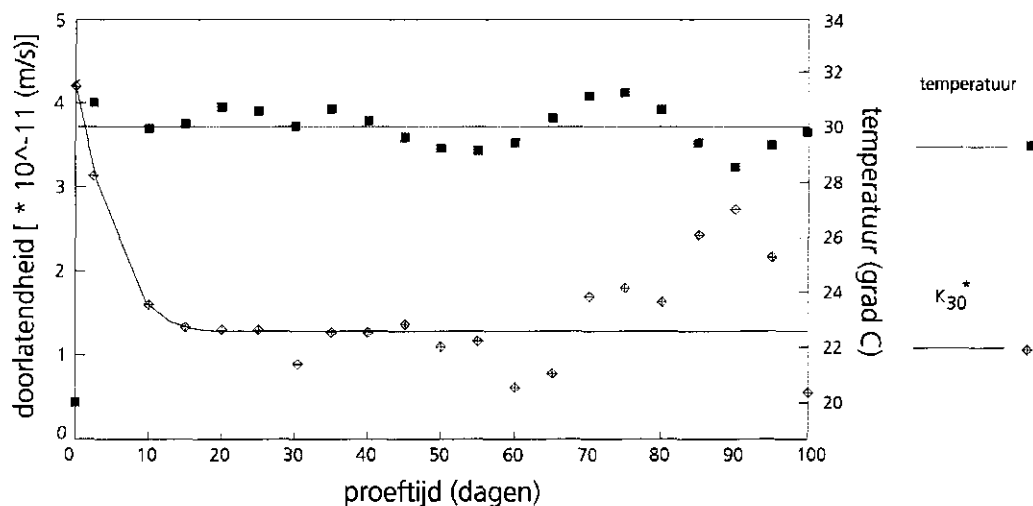


Fig. 4 Invloed van temperatuur op de doorlatendheid van TRISOPLAST

4.5.2.4 Doorlatendheden van de speciale variant

De 'speciale variant' (zie 4.1.) is geprepareerd door droog aangeleverde klei-gel te mengen met vochtig zand. Mengsels met 5% en 10% kleigel zijn aangemaakt, waarvan de proctordichtheid is bepaald bij het vochtgehalte waarbij in de praktijk het materiaal verwerkt zal worden. De resultaten van de proctortest en de gemeten doorlatendheid zijn in tabel 7 gegeven. De proctortest is voor ieder mengsel uitgevoerd. Ter vergelijking is doorlatendheid bepaald voor een verschraalde TRISOPLAST, aangemaakt met respectievelijk een minimaal en optimaal vochtgehalte.

Tabel 7 Proctorwaarden en doorlatendheid van 'speciale varianten'

Variant	Dichtheid (kg.m ⁻³)	Vocht (gew.%)	Doorl.h. * 10 ⁻¹¹ (m/s)	Geom.gem. * 10 ⁻¹¹ (m/s)
5% kleigel.	1670	5,7	8,1	
			6,5	7,2
10% kleigel	1690	6,1	1,3	
			1,2	1,3
Verschraalde TRISOPLAST	1710	6,4	0,6	
			0,6	0,6
Verschraalde TRISOPLAST	1670	20,0	0,6	
			0,6	0,6

Uit tabel 7 blijkt dat de doorlatendheid van drooggemengde variant met 10% kleigel niet beduidend afwijkt van de doorlatendheid van verschraald TRISOPLAST. Het vochtgehalte waarbij verschraalde TRISOPLAST wordt aangemaakt blijkt geen invloed te hebben op de doorlatendheid.

4.5.2.5 Invloed van de pH van de testvloeistof

De invloed van de pH op de doorlatendheid is bepaald voor standaard-TRISOPLAST bij een dichtheid van 1680 en 1560 kg.m⁻³ (resultaten na 320 dagen, tabel 8, bijlage). Uit tabel 8 blijkt dat zowel een hoge als een lage pH gedurende de testperiode geen invloed heeft op de doorlatendheid. Enkele verklaringen zijn denkbaar: a) de het kristalrooster wordt aangetast, maar de residuen worden door het polymeer gebonden, b) het kristalrooster wordt aangetast, maar de residuen gedragen zich als een amorfe, klei-achtige materie en spoelen niet uit, c) het polymeer voorkomt aantasting van het kristalrooster van de de klei.

Tabel 8 Invloed van zuurgraad op doorlatendheid ($\cdot 10^{-11}$ m/s) van TRISOPLAST

Dichtheid (kg.m ⁻³)	Verd. HCl		Water	Percolaat	Verd. NaOH	
	pH 1,5	pH 3	pH 5	pH 7	pH 8,9	pH 10
1680	0,89	n.b.	n.b.	3,7	1,0	0,90
1560	1,23	1,48	1,50	4,3	1,7	1,05

n.b. niet bepaald

4.5.2.6 Semi-veldschaal

De praktijkproef bestaat uit twee proefvelden, waar afdichtingslagen zijn aangelegd met een standaard klei-polymeergehalte (veld 1) en een waar dit gehalte tweedende is van het standaardgehalte (veld 2). Infiltratiemetingen zijn gedurende vijf maanden uitgevoerd bij een drukhoogte van 0,5 m waterkolom aan de infiltratiezijde.

De afdichtingslaag was niet met waterverzadigd aan het begin van de infiltratieproef. Om de hydraulische gradiënt te bepalen is op verschillende dieptes in de afdichtingslaag de waterspanning gemeten met behulp van tensiometers, waarmee ook onderdrukken kunnen worden gemeten. Dit laatste is nodig omdat aanvankelijk de afdichtingslaag niet met waterverzadigd is en er een onderdruk heerts in het capillairgebonden water.

De infiltratiesnelheid in veld 1 was aanvankelijk gemiddeld 0,08 mm per dag bij een gradiënt van 27 (doorlatendheid $3,3 \cdot 10^{-11}$ m.s⁻¹). De infiltratiesnelheid liep in de daaropvolgende maande terug naar 0,03 mm.d⁻¹, als gevolg van een afnemende gradiënt.

De infiltratiesnelheid op veld 2, bedroeg aanvankelijk gemiddeld 0,06 mm.d⁻¹, bij een gemiddelde gradiënt van 35 (doorlatendheid $2 \cdot 10^{-11}$ m.s⁻¹) en liep terug naar 0,02 mm.d⁻¹.

Uit de metingen kan worden afgeleid dat de in het veld gerealiseerde doorlatendheid overeenkomt met de doorlatendheid van monsters die op het laboratorium waren geprepareerd.

4.5.3 Deformatieproef

Het monster staat in de triaxiaalcel onder een omgevingsdruk van 3 atm. In de beginfase van de proef is het monster geconsolideerd, waardoor eerst water uit het monster is gestroomd. De stroming uit de onder- en bovenzijde van het monster is gemeten. Hierbij is gedurende de eerste maand van de proef ook gas uit het monster gestroomd, dat waarschijnlijk lucht was.

Na ca. een maand keerde de stroomrichting om en kon de doorlatendheid worden gemeten. De meting is een maand gecontinueerd om zeker te zijn geen consolidatie meer plaats vond. De doorlatendheid voor water is volgens de triaxiaal methode $3,2 \cdot 10^{-11}$ m/s en wijkt ca. $1,1 \cdot 10^{-11}$ m/s af van de doorlatendheid volgens de 'falling head' methode, en is $0,7 \cdot 10^{-11}$ m/s lager dan de laagst gemeten waarde volgens de 'falling head' meting.

Deformatie van het monster in de triaxiaal is gerealiseerd door een opgelegde lengtevermindering van 3 mm waarbij het monstervolume gelijk is gebleven. Na de deformatie kon geen doorlatendheid worden bepaald omdat direct na de ingreep een sterke uitstroom van gas aan beide zijden van het monster op gang kwam. In het gas is een hoge concentratie CO_2 aangetoond. Dit duidt op afbraak van organische stof. De organische stof in het rivierzand (ca. 0,5%) is hiervoor verantwoordelijk en niet de polymeer zoals ATO-DLO heeft aangetoond.

De proef is opnieuw gestart met in de testvloeistof een bacterie dodend middel. De doorlatendheid na consolidatie is niet meetbaar ($< 10^{-12} \text{ m.s}^{-1}$). Ook na een opgelegde deformatie is de doorlatendheid extreem laag gebleven en was niet meetbaar.

4.5.4 Waterretentie en krimpkarakteristiek

De retentiekarakteristiek en de krimpkarakteristiek van standaard-TRISOPLAST (1560 kg/m^3) is in tweevoud bepaald. De resultaten van beide proeven zijn samengevat in fig. 5. De vochtretentiekarakteristiek is de samenhang tussen de hoeveelheid vocht die kan worden vasthouden en de zuigspanningen in het porie-water. De krimpkarakteristiek is de samenhang tussen het volume van een hoeveelheid TRISOPLAST en het vochtgehalte.

In fig. 5 is de krimpkarakteristiek (bovenste grafiek) en de vochtretentiekarakteristiek (onderste grafiek) weergegeven. De krimpkarakteristiek wordt beschreven als de samenhang tussen de vocht-verhouding (volume vocht per eenheid volume vaste fase) en de porie-verhouding (volume poriën per volume-eenheid vaste fase). Door wateropname als gevolg van de zweleigenschappen van TRISOPLAST kan de vochtverhouding toenemen. Als het materiaal geen lucht bevat (verzadigde toestand) neemt de porie-verhouding rechtevenredig toe met de vochtverhouding. Bij vochtontrekking aan gezwollen materiaal neemt de vocht-verhouding af. Zolang geen lucht in het materiaal dringt, zal ook de porie-verhouding met eenzelfde waarde afnemen. Pas

als bij doorgaande vochtonttrekking lucht in het materiaal dringt neemt de porie-verhouding minder af dan de vocht-verhouding.

Bij een vocht-verhouding van 1,2 is de lucht intree-waarde van standaard-TRISOPLAST bereikt.

De krimp karakteristiek is bepaald voor zuigspanningen tot 150 mB. Bij een zuigspanning van 0 mbar is het materiaal verzadigd. Bij hogere zuigspanningen spreekt men van een onverzadigde toestand, zelfs als geen water aan het materiaal kan worden onttrokken. TRISOPLAST staat 2,8 gew.% vocht af ten opzichte van verzadiging onder invloed van een zuigspanning van 150 mB. Dit vochtverlies deed het materiaal alleen krimpen, lucht kon niet indringen. In fig. 5 geeft de verticale, gestippelde lijn de vochtverhouding waarbij juist lucht in het materiaal dringt. Het is zeer waarschijnlijk dat dit pas bij veel hogere zuigspanningen zal gebeuren dan 150 mbar.

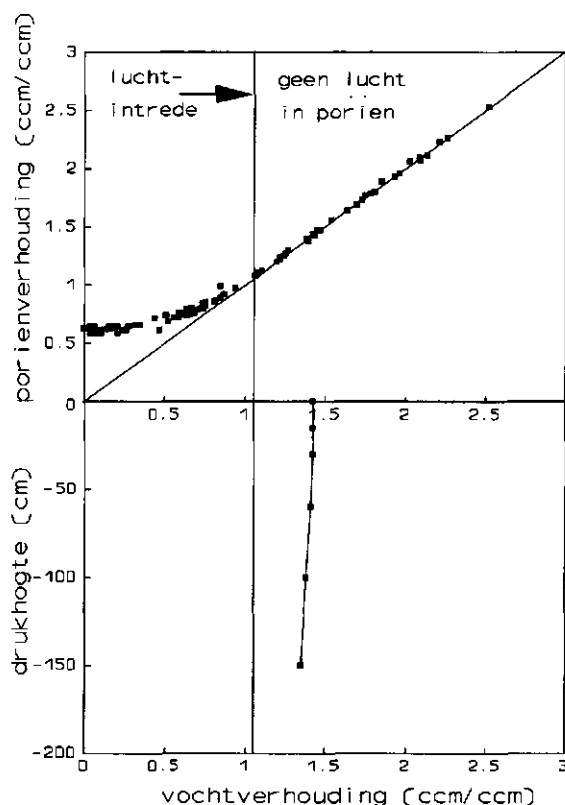


Fig. 5 Krimp- en vochtretentiekarakteristiek van standaard-TRISOPLAST mengsel

4.5.5 Enslin-proef

De Enslin proef dient om het maximaal zwelvermogen te bepalen. De proef is in twee series met ieder drie herhalingen uitgevoerd. De resultaten zijn in figuur 6 gepresenteerd. De a(1)-serie betreft materiaal, dat vers gemaakt is. De proeven in de a(2)-serie zijn uitgevoerd aan materiaal uit proef a(1), nadat dit eerst heeft kunnen zwellen,

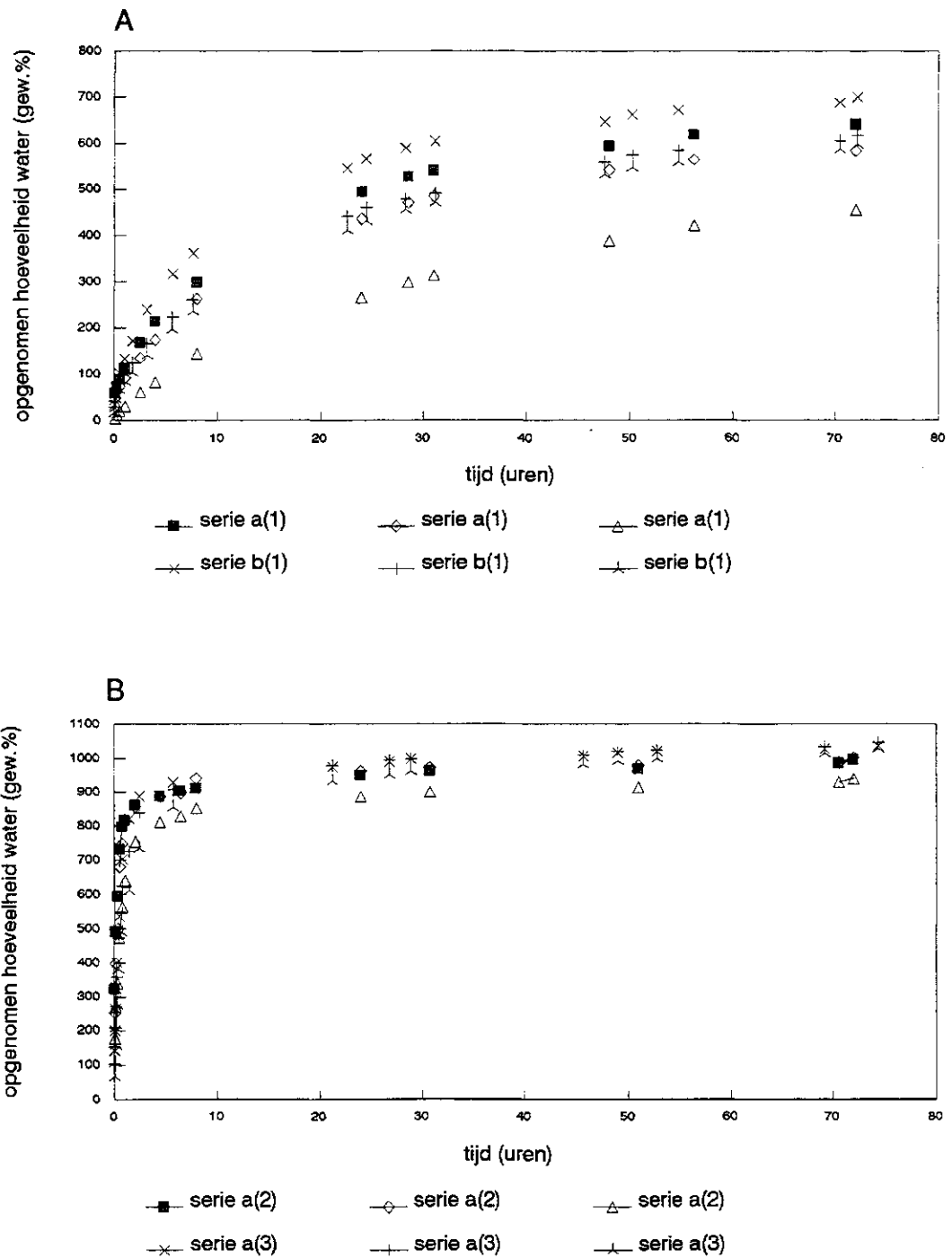


Fig. 6 Wateropname van klei-gel in de Enslin-proef
A - vers gemengde standaard TRISOPLAST
B - eerder gedroogde TRISOPLAST

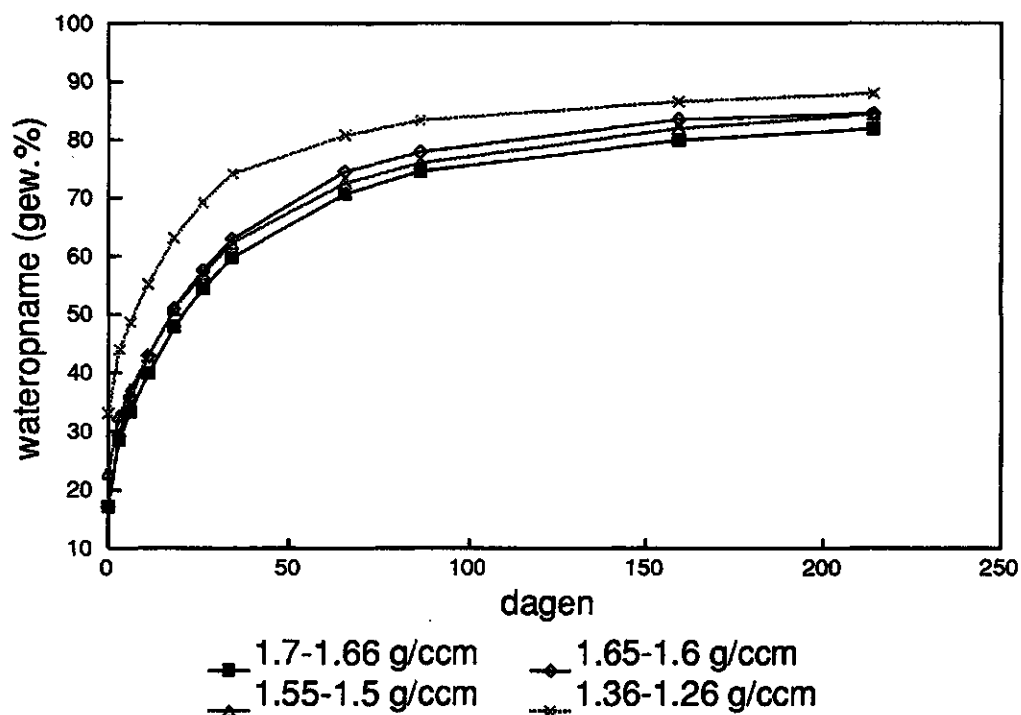


Fig. 7 Wateropname van TRISOPLAST zonder belasting

waarna het aan de lucht werd gedroogd, tot poeder gewreven en opnieuw op het Enslin-apparaat gebracht. Voor de a(3)-serie is dezelfde procedure gevolgd, maar nu na uitvoering van de a(2)-serie.

De wateropnamesnelheid van vers-aangemaakte klei-gel verschilt duidelijk van die van gedroogde klei-gel. De snelle wateropname door de gedroogde klei-gel wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het veel beter contact met de keramische plaat dan bij de vers aangemaakte klei-gel. Bovendien lijkt bij vers gemaakte klei-gel de binding tussen polymeer en bentoniet een snelle wateropname cq. swelling te remmen. Luchtdroog, als poeder op het Enslin apparaat opgebrachte klei-gel neemt in het eerste uur bijna de hele opneembare hoeveelheid water op.

De Enslinproef is voortgezet met monsters TRISOPLAST met verschillende begin-dichtheden en bij afwezigheid van een bovenbelasting. Uit fig. 7 blijkt dat de opname van water relatief langzaam verloopt, maar gedurende zeer lange tijd (meer dan 200 dagen) doorgaat.

4.5.6 Plasticiteitsindex

De plasticiteitsindex PI wordt berekend uit het vochtgehalte bij de vloeigrens V (gew.%) en de uitrolgrens U (gew.%) volgens:

$$P I = V - U$$

De uitrolgrens van het standaard-TRISOPLAST IS 36 gew.%, en de vloeigrens 179 gew.%. De plasticiteitsindex is 143%. Deze waarde ligt ruim boven de vereiste 35%. De hoge plasticiteit van TRISOPLAST wordt veroorzaakt door de bindings-eigenschappen van de polymeer waarbij wel wateropname mogelijk is, maar vloeien wordt tegengegaan. De hoge PI-waarde van het standaard mengsel karakteriseert de zeer brede range van watergehaltes, waarbij het materiaal een plastisch gedrag vertoont. Een hoge plasticiteit wordt algemeen als voordelig beschouwd, omdat het materiaal onder druk alleen vervormt en niet scheurt. Plastisch materiaal toont onder drukbelasting vloeigedrag. De plasticiteit en dichtheid bepalen de stevigheid van het materiaal en de maximale helling waaronder taluds kunnen worden aangelegd.

4.5.7 Adhesieproef

De kleef tussen TRISOPLAST en verschillende materialen is bij verschillend vochtgehalte van het standaard mengsel onderzocht. De gekozen materialen zijn gladde HDPE folie, ruw HDPE folie, PVC, onbehandeld staal en oppervlakkig gehard staal. De resultaten zijn in figuur 8 gegeven.

De proef toont aan dat TRISOPLAST niet aan andere materialen kleeft bij een vochtgehalte onder de uitrolgrens (36 gew.%). TRISOPLAST kleeft het minste aan gladde HDPE folie en glad, oppervlakkig gehard staal. De grootste kleef komt voor bij ruw staal, vooral bij hoge vochtgehaltes. Als ook druk wordt uitgeoefend, blijft TRISOPLAST aan bijna alle materialen kleven, het duidelijkst aan ruw staal.

Uit deze proef valt te concluderen, dat voor verwerking van TRISOPLAST machines met 'gladde' oppervlaktes gekozen moeten worden, en wrijvende verwerkingstechnieken problemen kunnen veroorzaken. Omdat het materiaal zeker verwerkt zal worden bij vochtgehaltes onder de 20%, dus beduidend onder de uitrolgrens, worden geen verwerkingsproblemen verwacht. Doorwerken tijdens regen moet echter worden ontraden.

4.5.8 Adsorptiecapaciteit en kationenbezetting

De adsorptiecapaciteit van TRISOPLAST is het vermogen om kationen uitwisselbaar te binden (CEC, cation exchange capacity). Onder de kationenbezetting wordt verstaan de hoeveelheid die van elk positief geladen ion aan het adsorptiecomplex wordt aan-

ADHESIE PROEF

vocht gehalte (gew.%)	HDPE folie			PVC			staal		
	glad			glad			ruw		
	s	d	w	s	d	w	s	d	w
20 - 30 (n=7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31 - 50 (n=5)	+	-	+	+	-	+	-	+	+
51 - 70 (n=3)	-	-	+	+	-	+	+	+	+
71 - 90 (n=3)	-	-	-	-	-	+	+	+	#
91 - 110 (n=2)	-	-	-	-	-	+	+	#	#
111 - 130 (n=1)	-	-	-	-	+	+	#	#	#

s steken d duwen w wrijven - plakt niet + plak sporen # plakt duidelijk

Fig. 8 Adhesieproef

getroffen. De adsorptiecapaciteit en kationenbezetting worden uitgedrukt in milliequivalent per kg droge grond ($\text{meq} \cdot \text{kg}^{-1}$).

De adsorptiecapaciteit van het klei-gel in TRISOPLAST is $450 \text{ meq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Van puur bentoniet is de CEC $800 - 1200 \text{ meq} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Hoeks et al., 1991). De toegevoegde polymeer lijkt een belangrijk deel van de bindingsplaatsen te bezetten waardoor de uitwisselingscapaciteit voor kationen wordt gehalveerd. Daardoor lijkt de klei-gel op het kleimineraal illiet, dat een relatief lage CEC heeft. De kationenbezetting van de klei-gel wordt door het gebruik van natrium-verrijkte bentoniet duidelijk door natrium gedomineerd ($1272 \text{ meq} \cdot \text{kg}^{-1}$). Verder zijn calcium- ($214 \text{ meq} \cdot \text{kg}^{-1}$), magnesium- ($65 \text{ meq} \cdot \text{kg}^{-1}$) en kaliumionen ($32 \text{ meq} \cdot \text{kg}^{-1}$) aanwezig. Aluminium-, ijzer- en mangaanionen zijn niet aangetoond. Hun concentraties liggen onder het detectielimiet.

4.5.9 Adsorptie

De micro-kolommen zijn gevuld met zand en met een mengsel van zand en het klei-gel. De effectieve porositeit is bepaald via de doorbraakcurven van een nitraatoplossing (fig. 9).

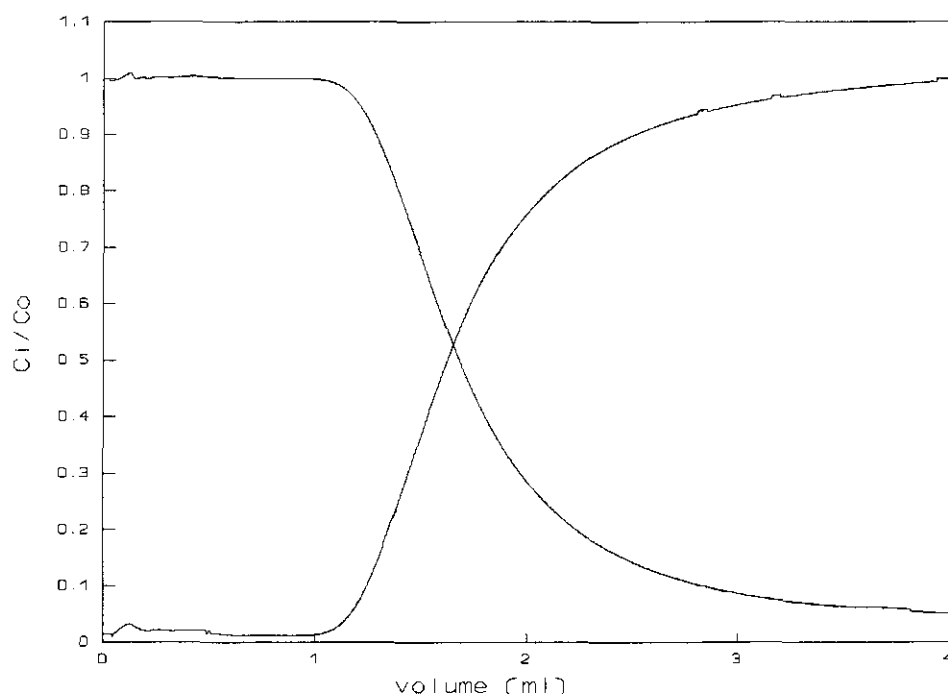


Fig. 9 Doorbraakcurven van nitraatoplossing, 10 mg.l^{-1} , voor een TRISOPLASTkolom. Het doorbraakvolume, 1,7 ml, is in dit geval het totale volume aan poriën

Het adsorptie- en desorptiegedrag van acenafteen en butylbenzeen is weergegeven in fig. 10.

Uit de afmeting van de kolom (inhoud $4,155 \text{ ml}$) en de nitraatdoorbraakcurve kan worden afgeleid, dat het porievolume $0,40 \text{ m.m}^3$ is. Het droogvolumegegewicht is ca. 1565 kg.m^{-3} . Uit fig. 10 kan worden afgelezen dat het snijpunt van de adsorptie- en desorptiecurve van butylbenzeen valt bij een doorstroomd volume van $6,1 \text{ ml}$ voor de zandkolom en $6,4 \text{ ml}$ voor de TRISOPLASTkolom of te wel $3,58$ resp. $3,77$ keer het porievolume. Voor acenafteen zijn vallen de snijpunten samen bij $10,2 \text{ ml}$, dus ca. $6,0$ keer het porievolume.

Een belangrijke factor bij adsorptie-desorptie is de zogenaamde retardatiefactor, R_d . Deze factor geeft de verhouding weer tussen de verplaatsingssnelheid in de bodem van opgeloste stoffen, die niet worden geadsorbeerd, en opgeloste stoffen die wel worden geadsorbeerd. Deze verhouding is afhankelijk van het droogvolumegegewicht, ρ , de porositeit, ϵ , en de verdelingscoëfficiënt, K_d , (=verhouding tussen de hoeveelheid geadsorbeerde stof per massa-eenheid droge bodem en de concentratie van die

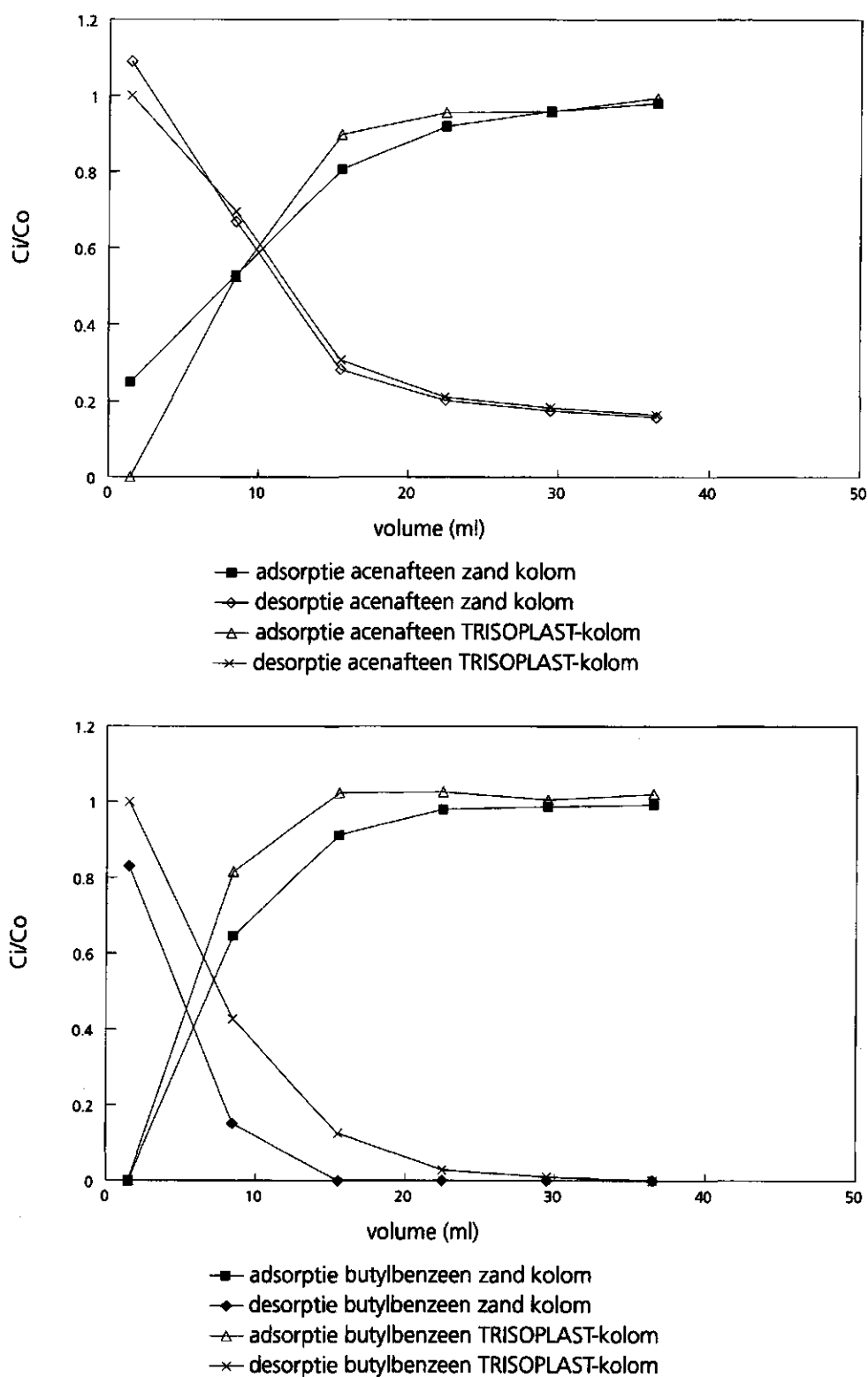


Fig. 10 Doorbraakcurven van butylbenzeen en acenafteen. Influentconcentratie butylbenzeen 0,6 mg.l⁻¹, acenafteen 0,4 mg.l⁻¹

stof in de bodemoplossing). De verdelingsfactor wordt berekend met:

$$K_d = \frac{\frac{V_d}{V_k} - \epsilon}{\rho}$$

en de retardatiefactor met:

$$R_d = 1 + \frac{\rho}{\epsilon} K_d$$

De verdelingscoëfficiënt van het polaire butylbenzeen bedraagt $6,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ (zand) en $7,29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ (TRISOPLAST). Dit is geen significant verschil, omdat de variatie in het droogvolumegewicht in de kolommen ca. 10% bedraagt. De adsorptie van butylbenzeen wordt dus niet significant beïnvloed door het polymeer. De retardatiefactor in zand en TRISOPLAST is gemiddeld 3,8. De verdelingscoëfficiënt van het apolaire acenafteen in zand en TRISOPLAST is $13,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ en de retardatiefactor 6,1. Ook voor deze stof wordt met TRISOPLAST geen significant extra adsorptiecapaciteit verkregen.

Het apolaire toluen en etylbenzeen gedragen zich overeenkomstig nitraat en worden dus niet geadsorbeerd door zand en TRISOPLAST.

4.5.10 Diffusiecoëfficiënt

Naast adsorptie is de diffusiecoëfficiënt materiaal een belangrijke materiaaleigenschap die de transportsnelheid van opgeloste verontreinigingen door afdichtingslagen bepalen. De diffusiecoëfficiënt van bromide in standaard-TRISOPLAST met een dichtheid van $1560 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ is met behulp van de halfcel methode bepaald. De diffusiecoëfficiënt is volgens de rekenwijze van Beuving en Boels (1992) bepaald. Het verloop van de concentratie van bromide in de compartimenten van de halfcellen is bepaald. De diffusiecoëfficiënt tendeert in de tijd af te nemen. De gemiddelde waarde is ca $4,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Voor chloride varieert de diffusiecoëfficiënt van 1 tot $8 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (Beuving en Boels, 1992)

5 Beoordeling TRISOPLAST in relatie tot andere minerale afdichtingsmaterialen

Doorlatendheid

In tabel 9 is een overzicht gegeven van geschikte natuurlijke minerale afdichtingsmaterialen (Boels, 1993). Uit deze tabel blijkt dat alleen Potklei de doorlatendheid van TRISOPLAST benadert. De doorlatendheid van de gangbare-zand-bentoniet mengsels ligt een factor 10 hoger dan van TRISOPLAST.

Tabel 9 Doorlatendheid voor water van geschikte minerale materialen voor afdichtingslagen en van TRISOPLAST

Materiaal	Lutum (%)	Sloef (%)	Doorlatendheid (*10 ⁻¹⁰ m/s)
Matig zware tot zeer zw. klei	> 35		< 1,0
Lichte klei	28 - 35		1,0 - 100,0
Löss		> 70	< 1,0
Keileem		50 - 70	1,0 - 10,0
Lemig zand		< 50	> 10,0
Tegelse klei	50		1,5
Reuver klei	38		1,3
Potklei	74 - 80	< 12	0,5
Boomklei	38 - 62		0,7
Zand-bentoniet	5		5,0
Zand-bentoniet	7		2,0
Zand-bentoniet	10		1,5
TRISOPLAST standaard			0,1 - 0,4
TRISOPLAST verschaald			< 0,6
TRISOPLAST drooggemengd, verschaald			0,1

Recentelijk heeft Melchior et al. (1993) in een 5-jaar durende proef aangetoond, dat de doorlatendheid van natuurlijke zavel (17% klei, 26% silt, 52% zand en 5% grint, PI 8,9%, dichtheid 1950 kg.m⁻³) door waarschijnlijk structuurvorming onder invloed van herhaaldelijk beperkte vochtverlies en -opname aanzienlijk toeneemt en zelfs zijn afdichtende functie verliest. Voorlopig wordt ontraden om voor bovenafdichtingen natuurlijke kleien te gebruiken zolang de oorzaak van dat fenomeen niet is achterhaald en een remedie is ontwikkeld. Zand-bentoniet daarentegen behoudt zijn afdichtende werking echter wel (Boels en Wiebing, 1990). Gelet op de grote overeenkomst tussen zand-bentoniet en TRISOPLAST, mag worden verwacht dat dit laatste materiaal langdurig zijn functie zal behouden.

De invloed van de dichtheid op de doorlatendheid van TRISOPLAST is afwezig boven proctordichtheden van 92%. Pas bij een proctordichtheid van ca. 60% neemt de doorlatendheid van TRISOPLAST af tot de doorlatendheid van de gangbare zand-bentoniet mengsels.

Vuilstortpercolaat heeft eerder een positieve dan een negatieve invloed op de doorlatendheid van TRISOPLAST.

Het polymeer is bestendig voor UV-belasting en ongevoelig voor langdurig blootstelling aan de lucht. Langdurig bewaren van het gerede materiaal heeft eerder een positieve dan een negatieve invloed op de afdichtende werking.

Een verhoogde temperatuur lijkt de afdichtende werking te bevorderen en heeft op z'n minst geen nadelig effect.

Deformatie

Tijdens de deformatieproef is de doorlatendheid van TRISOPLAST als gevolg van consolidatie onmeetbaar klein geworden. Deformatie heeft daarop geen enkele invloed uitgeoefend. Van andere minerale afdichtingsmaterialen is deze samenhang onbekend.

Waterretentie en krimp karakteristiek

TRISOPLAST heeft een groot reversibel zwel- en krimpvermogen. Zuigspanningen tot meer dan 150 mbar veroorzaken een vochtonttrekking van ca. 3%, waarbij het materiaal wel krimpt, maar waarbij geen lucht intreedt. Van andere minerale materialen is deze eigenschap niet bepaald. Figuera en Stegmann (1991) tonen aan dat bovenafdichtingen van natuurlijke minerale materialen niet altijd gasdicht zijn. Omdat bij bovenafdichtingen zuigspanningen op de afdichtingslagen kunnen worden uitgeoefend tot hooguit 100 mbar, zal TRISOPLAST steeds luchtdicht blijven. Daardoor is dit materiaal erg geschikt voor bovenafdichting van stortterreinen waar stortgas wordt gewonnen. Ontsnapping van stortgas naar de atmosfeer wordt voorkomen, maar ook het aanzuigen van lucht bij geforceerde onttrekking zodat oxidatie van methaan in het stort wordt voorkomen.

Plasticiteitsindex

De vereiste plasticiteitsindex is 35% terwijl die van TRISOPLAST ca. 180% is en erg hoog vergeleken met de plasticiteitsindex van Boomklei (Koenis en Loovers, 1991): 38 - 52% en zeker met die van de gangbare zand-bentoniet mengsels: ca. 12% (Onstenk, 1992). Bij zeer snelle ongelijkmatige zettingen kunnen, evenals bij klei en zandbentonietafdichtingen, scheuren in de afdichtingslaag ontstaan. Als gevolg van het zwelvermogen van de minerale afdichtingen, worden zulke scheuren weer gedicht. Daarbij neemt in principe het droogvolume gewicht van de afdichtingslaag in de buurt van de scheuren af. Het droogvolume gewicht van TRISOPLAST kan afnemen tot 1000 kg.m^{-3} , waardoor de doorlatendheid toeneemt tot $1,3 \cdot 10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$. Theoretisch betekent dit dat een scheurvolumen van 60% in de oorspronkelijke afdichtingslaag wordt gedicht zonder functieverlies van de afdichtingslaag.

Als gevolg van langzame ongelijkmatige zetting, zal de afdichtingslaag langzaam worden gedeformeerd en uitgerekt, waarbij het droogvolume gewicht en de doorlatendheid niet veranderen. De laagdikte van een TRISOPLAST bovenafdichting mag theoretisch afnemen tot ca. 0,03 m voor de vereiste afdichtende werking niet meer aan

de Richtlijn bovenafdichting wordt voldaan. Dit betekent dat de ongelijkmatige zetting niet groter mag zijn dan ca. 4,5 m per m bij een oorspronkelijke laagdikte van 0,15 m en ca. 2,0 m per m bij een laagdikte van 0,08 m. Zulke extreme ongelijkmatige zettingen zijn zeer onwaarschijnlijk. Extreem is al 0,3 m per m. Deze eigenschap maakt TRISOPLAST meer dan de andere materialen geschikt voor afdichtingen op ondergronden waar grote verschilzettingen worden verwacht.

Enslin-waarde

Van bentoniet in de zand-bentonietmengsels wordt geist, dat de Enslin waarde (=fractie opgenomen water per gewichtseenheid droge stof, uitgedrukt in procenten) minstens 400% moet zijn na een uur en meer dan 700% na 24 uur. De klei-gel in TRISOPLAST mag wegens de aanwezigheid van het gebonden polymeer niet zondermeer met bentoniet worden vergeleken. De droge klei-gel neemt binnen 1 uur ca. 800% water op, en na 24 uur ca. 950%. Het voldoet derhalve ruimschoots aan de eisen. Voor de gangbare geactiveerde Europese bentoniet zijn deze waarden respectievelijk ca. 500% en 850% (Onstenk, 1992).

Adhesie

TRISOPLAST kleeft bij vochtgehaltes boven de uitrolgrens, 35%, aan staal en kunststoffen. Het vochtgehalte bij verwerking in de praktijk zal minder zijn dan 20%, zodat geen problemen bij de het mengproces en de verwerking verwacht hoeven te worden. Doorwerken tijdens regen wordt echter ontraden. Zand-bentoniet mengsels worden verwerkt bij ca. 13% vocht en leveren ook geen problemen. Andere natuurlijke minerale afdichtingsmaterialen moeten in het algemeen worden verwerkt bij vochtgehaltes onder de uitrolgrens.

Kationomwisselcapaciteit

De kationomwisselcapaciteit van de klei-gel is geringer dan van puur bentoniet omdat de polymeer een deel van de bindingsplaatsen lijkt te blokkeren of te bezetten. De omwisselcapaciteit komt overeen met het kleimineraal illiet. Uit de experimenten met vuilstortpercolaat, waaruit is gebleken dat de doorlatendheid eerder afneemt dan toeneemt, kan men concluderen, dat de klei-gel minder gevoelig is voor meerwaardige ionen dan zuiver bentoniet, die daarop reageert met een dunnere diëlectrische dubbellaag en daardoor een grotere doorlatendheid.

Adsorptie

In de afvalstoffen komen relatief weinig organische microverontreinigingen voor. Als de adsorptiecapaciteit van een onderafdichting groter is dan de totale hoeveelheid verontreiniging, zal geen emissie naar de bodem optreden. De klei-gel adsorbeert geen toluen en etylbenzeen. De adsorptiecapaciteit voor butylbenzeen en acenafteen is gerelateerd aan de concentratie in de oplossing. De verhouding tussen de hoeveelheid geadsorbeerde stof per massa-eenheid bodemmateriaal en de concentratie van die stof in de bodemoplossing wordt verdelingscoëfficiënt genoemd. Deze bedraagt voor butylbenzeen ca. $7,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ en voor acenafteen $13,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ voor zand

en TRISOPLAST. TRISOPLAST vergroot de adsorptiecapaciteit voor deze stoffen niet significant.

Deze eigenschap kan niet met andere minerale materialen worden vergeleken omdat hierover gegevens ontbreken.

Diffusie

De diffusiecoëfficiënt voor bromide in TRISOPLAST is gemiddeld $4,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Geconcludeerd kan worden dat het polymeer de schijnbare weglengte voor ionen niet verlengt. In dit opzicht verschilt TRISOPLAST niet van de gangbare zand-bentoniet mengsels.

Milieurendement

Het milieu rendement van toepassing van TRISOPLAST bestaat uit de mogelijkheid voor besparing van materiaal (grondstoffen), beperking van de bodembelasting, vergroting van stortruimte en verruiming van de locatiekeuze van afvalstorten.

Op het moment wordt aangenomen dat bij toepassing van folie op een zand-bentoniet afdichting een lekverlies van 5-10 mm per jaar moet worden verwacht. Lekverliezen zullen vooral plaatselijk optreden door scheuren in de folie. Toepassing van TRISOPLAST heeft dan het voordeel dat dit ongevoelig is voor percolaat en zijn afdichtende werking volledig behoudt. Indien TRISOPLAST wordt toegepast volgens de huidige richtlijnen, wordt een vermindering van de bodembelasting gerealiseerd van 30-90% ten opzichte van de gangbare materialen.

Een besparing op constructiematerialen met meer dan 50% ten opzichte van de gangbare materialen kan met toepassing van TRISOPLAST worden verkregen. De afdichtingslagen worden daarbij volgens de huidige criteria ontworpen (maximale flux bij gegeven omstandigheden).

Bij toepassing van TRISOPLAST in zowel onder als bovenafdichting, kan een extra stortvolume opleveren van minstens 4000 m^3 per ha stortterrein, indien deze afdichtingen volgens de huidige ontwerpcriteria worden ontworpen.

Hoewel zettingsgevoelige gebieden in principe ongeschikt zijn voor de inrichting van stortterreinen, kunnen er redenen zijn van maatschappelijke of politieke aard waarom toch zulke gebieden worden gekozen. Het ontwerp en het materiaal voor de constructie van de minerale afdichtingen en het constructie materiaal bepalen de mate waarin de bodem wordt beschermd. In dat geval is TRISOPLAST wegens zijn grote plasticiteit in het bijzonder geschikt als onder- en bovenafdichtingsmateriaal.

Literatuur

Beuving, J. en D. Boels, 1992. *Toepassingsmogelijkheden van boorgruis in afdichtingslagen van afval- en reststofbergen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 204.

Boels, D. en R. Wiebing, 1990. *Duurzame werking van zand-bentoniet afdichtingen in eindafdekkingen van stortplaatsen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 115.

Boels, D., 1993. *Studie naar onderafdichtingsconstructies voor afval- en reststofbergen*. Rapport 247, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

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 reststofbergen*. Rapport 91, Staring Centrum Wageningen.

Figuera, R.A and Stegmann, 1991. *Gas migration through natural liners*. In: Proceedings Third International Landfill Symposium, 14-18 October, Italy, Sardinia, S. Margherita di Pula (Cagliari).

Hopmans, J.W. & J.H. Dane, 1986. *Temperature dependence of soil hydraulic properties*. Soil Sci. Soc. Am. J. 50, 4-9.

Melchior, S., K. Berger, B. Vielhaber & G. Miehl, 1993. *Water balance and efficiency of different landfill cover systems*. In: Arnould, M., M. Barrès & B. Côme, 1993. Volume 1. Geology and confinement of toxic wastes. Rotterdam, A.A. Balkema.

Yong, R.N., A.M.O. Mohamed and B.P. Warkentin, 1992. *Principles of Contaminant Transport in Soils*. Amsterdam, Elsevier

VROM, 1993, *Richtlijn onderafdichtingsconstructies voor stort- en opslagplaatsen*. Den Haag, Ministerie van VROM, Publicatiereeks bodembescherming nr. 1993/2

Niet-gepubliceerde bronnen

Boels, D., 1977. *Bodemvervorming door sleuflooswerkende draineermachines en de invloed daarvan op de drainafstand*. Nota 999, ICW Wageningen.

Koenis, E.P.W. & E.M. Loovers, 1991. *Klei als basisafdichtingsmateriaal voor vuilstortplaatsen*. Doctoraalscriptie, LU Wageningen, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

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

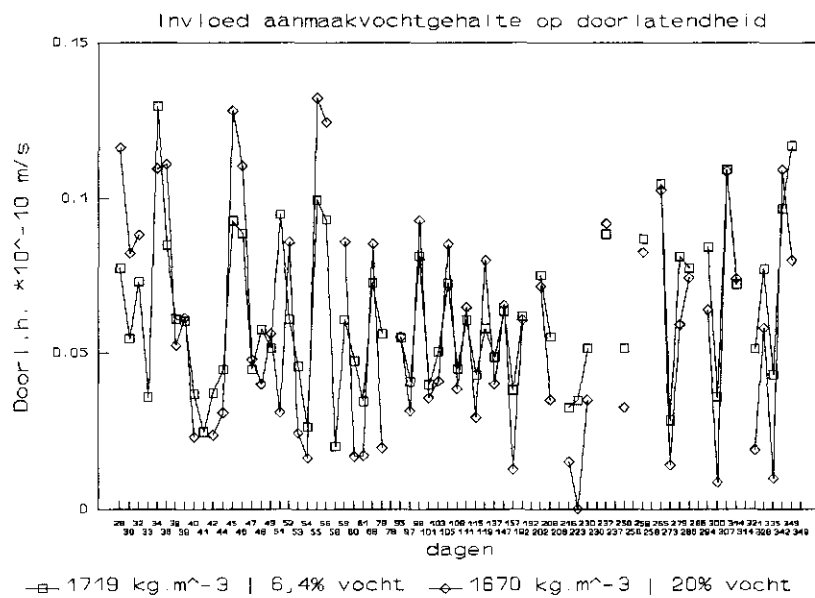
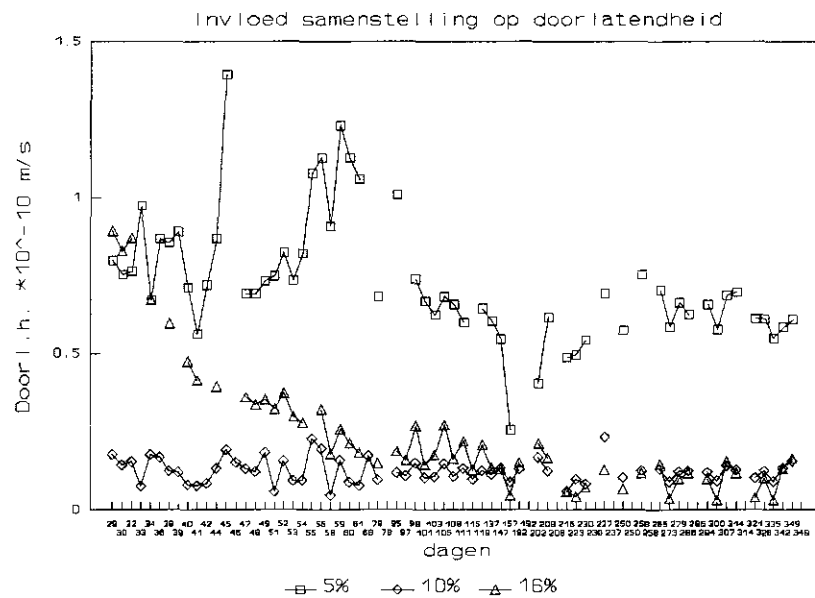
Velthorst, H.J., 1990. *Onderzoek naar de instelling van het adsorptie- en desorptie-evenwicht van organische microverontreinigingen in de bodem*. Interne Mededeling 78, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

GD, 1993, *Verticaal draagvermogen en talud stabiliteit van een speciale klei-gel*. Delft, Grondmechanica Delft, co-335670/16

Aanhangsels

	pag.
Aanhangsel 1 Invloed samenstelling en vochtgehalte op doorlatendheid	56
Aanhangsel 2 Invloed pH op doorlatendheid	57

Aanhangsel 1 Invloed samenstelling en vochtgehalte op doorlatendheid



Aanhangsel 2 Invloed pH op doorlatendheid

