

32/446(487) 2<sup>e</sup> ex

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

**Doorlatendheid van TRISOPLAST voor verschillende  
vloeistoffen**

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

**Rapport 487**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1996**



- 7 FEB. 1997

U5n931944 \*

## REFERAAT

D. Boels en G.J. Veerman, 1996. *Doorlatendheid van TRISOPLAST voor verschillende vloeistoffen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 487. 24 blz.; 1 fig.; 8 tab.; 11 ref.;

TRISOPLAST is een mengsel van zand, bentoniet en een polymeer en wordt wegens zijn zeer lage doorlatendheid ( $10^{-11}$  m/s) toegepast voor afdichtingen in bodembeschermende constructies. TRISOPLAST is ongevoelig voor aceton, ruwe olie, fenol en enigszins gevoelig voor diesel en zeewater na een blootstellingsduur van 21 maanden. Als het in contact komt met mierenzuur, kan kooldioxide worden gevormd. De korrelgrootteverdeling van het gebruikte zand heeft geen invloed op de doorlatendheid. Toevoeging van 2% TRISOPLAST aan vormzand verlaagt de doorlatendheid met 85%. In bepaald zand komt van nature een stof voor die het zwelvermogen van bentoniet volledig tot nul reduceert. TRISOPLAST is hiervoor ongevoelig.

Trefwoorden: afvalstortterrein, bentoniet, bodembescherming, bodemfysica, bodemverontreiniging, milieubescherming, zand

ISSN 0927-4537

©1996 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 aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

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

# Inhoud

	blz.
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Materiaal en methoden	11
2.1 Korrelgrootteverdeling zand	11
2.2 Proctordichtheid	11
2.3 Doorlatendheidsmeting	12
2.4 Zandsoorten in de mengsels	13
2.5 Testvloeistoffen	14
3 Resultaten	15
3.1 Proctordichtheid	15
3.2 Doorlatendheid	15
4 Discussie	19
Literatuur	23

## Samenvatting

Voor de constructie van afdichtingslagen in bodembeschermende voorzieningen voor afvalstort-, industrie- opslag- en overslagterreinen en tankparken worden minerale afdichtingsmaterialen gebruikt. Zulke materialen zijn niet absoluut dicht maar zijn duurzaam en geven een goede bescherming van de bodem. TRISOPLAST (handelsnaam) is zo'n afdichtingsmateriaal en bestaat uit een mengsel van zand, bentoniet en een polymeer. Uit eerder onderzoek is gebleken dat TRISOPLAST superieur is aan zandbentoniet.

In 1994 heeft General Industrial Developments SC-DLO opgedragen om een nader onderzoek in te stellen naar de doorlatendheid voor verschillende vloeistoffen van TRISOPLAST en de invloed van verschillende zandsorten op de doorlatendheid. De proeven zijn bij 20 °C uitgevoerd en de resultaten gelden voor deze temperatuur. Indien bij het ontwerp van afdichtingsconstructie andere 'ontwerp'-temperaturen gelden, dienen de hier gegeven doorlatendheden te worden gecorrigeerd voor bij die temperatuur behorende viscositeit.

In dit onderzoek is de doorlatendheid van TRISOPLAST voor ruwe olie, diesel, fenol, aceton, mierenzuur en zeewater bepaald. Vooraf aan het doorstromen met de testvloeistoffen zijn de monsters verzadigd met leidingwater, waardoor TRISOPLAST zich volledig kan ontwikkelen.

Gebleken is dat TRISOPLAST ongevoelig is voor ruwe olie, aceton en fenol. Na een meetduur van 639 dagen (21 maanden) blijkt de doorlatendheid voor water  $\sim 1 \cdot 10^{-11}$  m.s<sup>-1</sup> en voor diesel  $16 \cdot 10^{-11}$  m.s<sup>-1</sup>, een significante, maar geen alarmerende toename. De doorlatendheid voor zeewater na 639 dagen blijkt  $9 \cdot 10^{-11}$  m.s<sup>-1</sup>, ook een toename ten opzichte van water, maar gelet op de zeer hoge electrolytconcentratie is de invloed zeer gering. De doorlatendheid blijft zeer hoog ( $\gg 10^{-5}$  m.s<sup>-1</sup>) als het droge materiaal met zeewater wordt aangemaakt en daarna wordt doorstroomd met zeewater. De doorlatendheid van monsters die met 3,5% leidingwater worden aangemaakt en daarna doorstroomd met zeewater, blijkt na 16 meetdagen  $34 \cdot 10^{-11}$  m.s<sup>-1</sup> te zijn. In dit geval neemt de doorlatendheid na verloop van tijd nog af.

In het onderzoek is natriumverrijkt bentoniet gebruikt in TRISOPLAST. Deze bentoniet bevat relatief veel calciumcarbonaat (1-3%). Mierenzuur (~100%) reageert hiermee onder vorming van CO<sub>2</sub>, dat als gas ontwijkt. De doorlatendheid voor mierenzuur kan door deze reactie niet worden bepaald. De gasdruk onder het monster loopt zelfs zo hoog op, dat daardoor het niveau in de meetburet stijgt in plaats van daalt. Deze reactie heeft geen schadelijke gevolgen voor de afdichtende werking van TRISOPLAST omdat uit eerder onderzoek is aangetoond dat TRISOPLAST ongevoelig is voor zeer sterke zuren en basen.

De doorlatendheid voor water van TRISOPLAST, aangemaakt met een zand waarin stoffen voorkomen die het zwelvermogen van bentoniet zeer sterk remmen, is vergeleken met de doorlatendheid van mengsels van dit zand met resp. 8 en 15%

bentoniet. Bij een toevoeging van 8% bentoniet blijft de doorlatendheid zeer hoog ( $>> 10^{-5} \text{m.s}^{-1}$ ). Een acceptabele doorlatendheid wordt wel verkregen met een toeslag van 15% bentoniet: ca.  $10 \cdot 10^{-11} \text{m.s}^{-1}$ . Met TRISOPLAST als toeslagmateriaal kan een doorlatendheid van 1 à  $4 \cdot 10^{-11} \text{m.s}^{-1}$  worden gerealiseerd.

De doorlatendheid van mengsels van zeer fijn zand en TRISOPLAST is niet lager dan van rivierzand en TRISOPLAST:  $\sim 1 \cdot 10^{-11} \text{m.s}^{-1}$ .

In de plaats van zand is vormzand gebruikt in TRISOPLAST. Vormzand is een reststof van ijzergieterijen en bestaat uit een mengsel van zand, bentoniet en enkele residuen van glanskoolvormers, die tijdens het gietproces deels zijn ontleed. Een deel van de bentoniet is tijdens het gietproces gaan sinteren en heeft z'n zwelvermogen verloren. De doorlatendheid van het vormzand bedraagt zonder enige toeslag  $6,7 \cdot 10^{-11} \text{m.s}^{-1}$ . Door het te mengen met 2% bentoniet is de doorlatendheid met ca. 25% verlaagd tot  $5,2 \cdot 10^{-11} \text{m.s}^{-1}$ . Een doorlatendheid van  $0,9 \cdot 10^{-11} \text{m.s}^{-1}$  (verlaging  $\sim 85\%$ ) wordt verkregen door vormzand met 2% bentonietpolymeer (TRISOPLAST) te mengen. Waarschijnlijk kan met 1% TRISOPLAST minstens hetzelfde effect worden bereikt als met 2% bentoniettoeslag.

Samenvattend kan uit dit onderzoek worden geconcludeerd dat TRISOPLAST:

- ongevoelig is voor aceton, fenol en ruwe olie;
- na 21 maanden blootstelling enigszins gevoelig is voor diesel en zeewater;
- zich volledig moet kunnen ontwikkelen voor maximaal resultaat (na aanleg opname van voldoende zoet water);
- ongevoelig is voor een ruime range aan korrelgrootteverdelingen van het zand waarmee het wordt gemengd;
- aangemaakt zou moeten worden met zuivere natriumbentoniet als contact met mierenzuur wordt verwacht;
- gemengd met vormzand de doorlatendheid aanzienlijk meer verlaagt dan eenzelfde hoeveelheid bentoniet. Om met TRISOPLAST eenzelfde verlaging te bereiken als met een zekere bentoniettoeslag kan waarschijnlijk met de helft van die hoeveelheid worden volstaan.

## **1 Inleiding**

Voor de constructie van afdichtingslagen in bodembeschermende voorzieningen voor afvalstort-, industrie-, opslag- en overslagterreinen en tankparken worden minerale afdichtingsmaterialen gebruikt. Zulke materialen, hoewel niet absoluut dicht, zijn duurzaam en geven een goede bescherming van de bodem. TRISOPLAST (handelsnaam) is zo'n afdichtingsmateriaal en bestaat uit een mengsel van zand, bentoniet en een polymeer. Uit eerder onderzoek is gebleken dat met TRISOPLAST veel lagere doorlatendheden kunnen worden verkregen dan met zandbentoniet. Ook bleek TRISOPLAST ongevoelig voor zeer sterke zuren en basen, langdurig verhoogde temperatuur, blootstelling aan UV-licht en vervorming (Weitz et al., 1994).

Op verzoek van General Industrial Developments heeft SC-DLO een nader onderzoek ingesteld naar de doorlatendheid van TRISOPLAST voor verschillende vloeistoffen en de invloed van de aard en samenstelling van het zand in de mengsels op de doorlatendheid. Daartoe is de doorlatendheid voor water bepaald van mengsels van bentonietpolymeer en rivierzand, fijn zand, vormzand en een zand waarin een niet gedetermineerde stof was aangetroffen die het zwelvermogen van bentoniet volledig blokkeert.

De doorlatendheid is onderzocht van mengsels van bentonietpolymeer en zand voor een verzadigde oplossing van ruwe aardolie, diesel, fenol, aceton, mierenzuur (~100%), en zeewater. Ter vergelijking is ook de doorlatendheid voor water bepaald van mengsels van bentoniet en vormzand en het zand waarin zwelremmende stoffen voorkomen.

## **2 Materiaal en methoden**

In dit hoofdstuk zijn verschillende bepalingmethoden beschreven, de testvloeistoffen en aard en samenstelling van verschillende zandsorten.

### **2.1 Korrelgrootteverdeling zand**

De korrelgrootteverdeling van de gebruikte zanden is bepaald door gedroogde monsters zand (24 uur, bij 105 °C) te zeven met een Retch zeefmachine. Per zandsort is 1000g droog materiaal in twee procesgangen gezeefd. In de eerste gang is het zevenset gebruikt met maaswijdtes 2000, 1410, 1000, 850, 600, 420µm en bodem en in de tweede gang 300, 210, 150, 105, 75, 50µm en bodem. In de eerste proces gang is 10 minuten bij stand '90' gezeefd en bij de tweede procesgang is dit gedurende 30 min. gebeurd. Zeven bij deze stand gedurende 10 of 30 minuten heeft echter geen significante invloed op de resultaten.

### **2.2 Proctordichtheid**

Het verdichtingsgedrag van het materiaal wordt bepaald door de samenstelling van het materiaal (textuur, gehalte organische substantie etc.), de verdichtings-energie en het vochtgehalte. De maximale dichtheid en het bijhorend optimale vochtgehalte is volgens de Standaard Proctor Proef (Standaard ARW Bepaling, 1990, proef 5.1) 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 verdichting is met een geautomatiseerde standaard apparaat uitgevoerd. Het te testen materiaal wordt verdicht in een cilinder ( $962 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ ) met behulp van een vrij vallende stamper. Het proefstuk is in 3 lagen van 0,04 m met 25 slagen per laag verdicht. De slagen zijn gelijkmatig over het monster oppervlakte verdeeld. Het monster is na de verdichting vlak afgesneden en is het nat volumegewicht door weging bepaald. Het vochtgehalte is bepaald door het mengsel gedurende 24 uur bij 105 °C te drogen. Het droogvolumegewicht is aansluitend berekend. De proef is herhaald bij verschillende vochtgehalten. In een grafiek is het droogvolumegewicht uitgezet tegen het vochtgehalte (Proctorcurve). Hieruit is de grootste (proctor)dichtheid en het bijbehorend vochtgehalte afgelezen.

### 2.3 Doorlatendheidsmeting

De verzadigde waterdoorlatendheid van TRISOPLAST is in het laboratorium bepaald volgens de falling head methode (Hoeks et al., 1990) bij een temperatuur van 20 °C. De monsters zijn in de monsterringen opgebouwd door een afgewogen hoeveelheid materiaal samen te persen tot een laag van 0,025 m waarbij juist het vereiste droogvolumegegewicht is verkregen. Op de binnenwand van de roestvrijstalen monsterring is vooraf een laagje siliconenvet aangebracht om eventuele randlekkages te voorkomen. De overgebleven ruimte in de monsterring is opgevuld met gewassen duinzand. Het testmateriaal is aan beide zijden voorzien van een glasvezelfilter en een geperforeerde plaat. De meetcellen waarin de monsterringen zijn ingebouwd bestaan uit perspex (figuur). Als echter een bepaalde testvloeistof dit materiaal aantast, wordt in overleg met materiaal deskundigen een geschikte alternatief gezocht.

Verzadiging van het monster gebeurt van onder af. Aanwezige lucht onder het monster kan via een ontluichtingsventiel ontsnappen. Ook tijdens de doorlatendheidsmeting stroomt de testvloeistof in bovenwaartse richting. Daardoor wordt het te testen materiaal volledig ontluicht en vermijdt men geflatteerde resultaten.

De doorgestroomde hoeveelheid vloeistof is afgeleid uit de verandering van het vloeistof-niveau in de meetburet. Ter controle is de uitgestroomde hoeveelheid opgevangen.

De doorlatendheid ( $K$ ) is berekend volgens:

$$K = \frac{a}{A} d (t_2 - t_1) Ln \frac{h_1}{h_2}$$

hierin is:

$K$  - doorlatendheid ( $m \cdot s^{-1}$ )

$h_1$  - waterniveau in het stijgbuis op tijdstip  $t_1$  (m)

$h_2$  - waterniveau in het stijgbuis op tijdstip  $t_2$  (m)

$t_{2,1}$  - meettijdstip (s)

$A$  - oppervlakte doorsnede monster (0,00817) ( $m^2$ )

$a$  - oppervlakte doorsnede stijgbuis (0,00002827) ( $m^2$ )

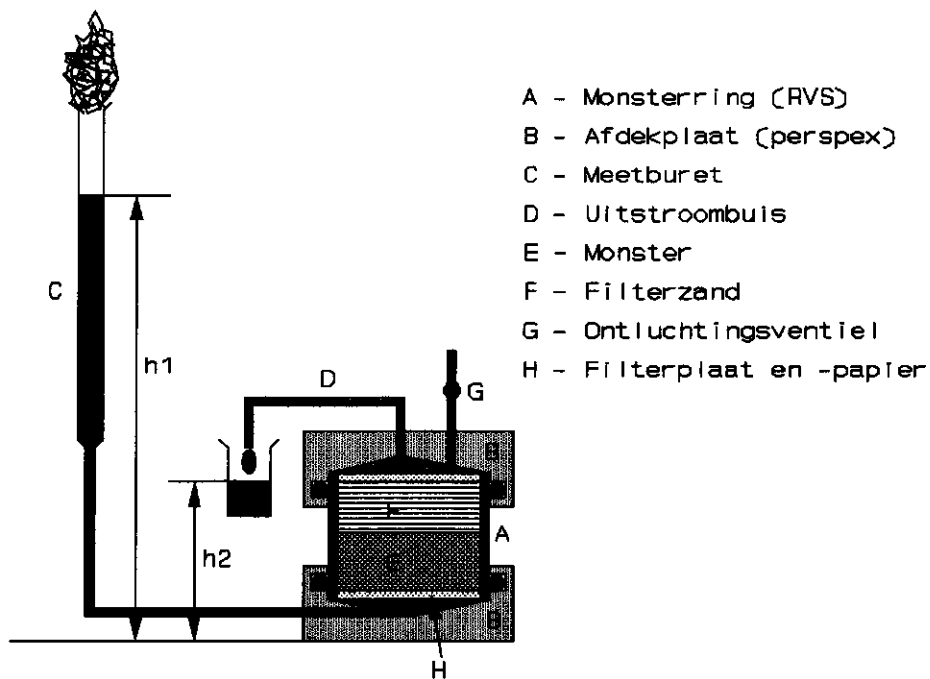
$d$  - de dikte monster (0,025) (m)

De gemiddelde drukhoogtegradiënt ( $i$ ) gedurende het tijdsinterval,  $\Delta t$ , is berekend volgens:

$$\bar{i} = \frac{h_1 - h_2}{d} \frac{1}{Ln \frac{h_1}{h_2}}$$

De metingen zijn zolang voortgezet tot er geen significante verandering in de doorlatendheid optreedt. Bij andere testvloeistoffen dan water zijn de metingen zolang voortgezet tot de testvloeistof het water in de effectieve poriënruimte heeft vervangen.





*Figuur Meetopstelling voor de 'falling head'-methode*

## 2.4 Zandsorten in de mengsels

### ***Rivierzand***

Voor het samenstellen van monsters waaraan de invloed van verschillende vloeistoffen is gemeten, is gewassen rivierzand gebruikt van de Fa. Van Leusden te Wageningen. Het mengsel bentonietpolymeer is door opdrachtgever geleverd en in voorgeschreven verhouding met het zand gemengd.

### ***Fijn zand***

De invloed van de granulaire samenstelling is bepaald door het bentonietpolymeer-mengsel te mengen met fijn zand uit Ederveen (beschreven door Beuving, 1984).

### ***Zand met van nature voorkomende zwelremmende stoffen***

De gevoeligheid is onderzocht van TRISOPLAST voor niet gedetermineerde stoffen die in een bepaalde groeve in het zand voorkomen. Monsters hiervan zijn door GRONTMIJ geleverd nadat was gebleken dat daarmee geen goed functionerende standaard zandbentonietafdichting kon worden verkregen (in dit rapport aangeduid als 'Grontmij' zand). Dit zand is gemengd met een voorgeschreven verhouding zand en bentonietpolymeermengsel en met respectievelijk 8 en 15% bentoniet. De granulaire analyse van de gebruikte zanden is in Tabel 1 weergegeven.

Tabel 1 Granulaire samenstelling zanden, gebruikt in diverse mengsels

Klasse ( $\mu\text{m}$ )	Rivierzand (%)	Grontmij-zand (%)	Ederveen (%)
< 50	0,2	0,1	2,8
50- 75	0,1	0,2	2,2
75- 105	0,1	0,4	9,7
105- 150	0,7	2,8	27,3
150- 210	3,8	11,4	30,9
210- 300	12,5	13,5	16,2
300- 420	24,2	32,9	8,0
420- 600	29,1	27,4	2,9
600- 850	15,3	6,8	
850-1000	4,9	1,8	
1000-1410	5,5	1,9	
1410-2000	3,1	0,9	
2000-2800	0,4	0,1	
M50	334	269	168 $\mu\text{m}$

Het zand is gedroogd bij 105 °C en de fractie > 2,8 mm is verwijderd. Het rivierzand verkit enigszins bij het drogen, maar valt gemakkelijk weer uit elkaar. Het 'Grontmij' zand oogt heel helder en schoon, is witter van kleur dan het rivierzand.

### Vormzand

Een vergelijkend onderzoek is uitgevoerd naar de invloed van een toevoeging van respectievelijk 0 en 2% bentoniet en 2% bentonietpolymeer op de doorlatendheid van vormzand. De hoeveelheid polymeer is afgestemd op het percentage actieve bentoniet in het mengsel. Vormzand is een reststof van ijzergieterijen en bestaat uit een mengsel van zand, bentoniet en enkele residuen van glanskoolvormers, die tijdens het gietproces deels zijn ontleed (Boels, 1995). Een deel van de bentoniet is tijdens het gietproces gaan sinteren en heeft z'n zwelvermogen verloren.

## 2.5 Testvloeistoffen

Voor de bestudering van de invloed van een sterk verhoogde electrolytconcentratie is zeewater (Noordzee, Ouddorp) gebruikt. Ruwe olie (Texaco, dunne kwaliteit Noordzee olie, Statfjord crude getrokken van Bergina), diesel en fenol (verzadigde oplossing: 100 gram in 1 liter water bij 20 °C) zijn gebruikt als representatieve vloeistoffen met een zeer lage relatieve diëlectrische constante (< 5), aceton (21), mierenzuur en water (79) als vloeistoffen met matige tot hoge relatieve diëlectrische constante. Deze reeks van vloeistoffen toont een toenemende polariteit.

## 3 Resultaten

### 3.1 Proctordichtheid

De resultaten van de proctor test zijn in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2 Samenhang vochtgehalte en 'proctordichtheid'

Vocht (gew.%)	Droogvolumegegewicht (kg.m <sup>-3</sup> )		Grontmij-zand		
	Riv. zand + TRISOPL.	Fijn zand + TRISOPL.	+ TRISOPL.	+ 8% bent.	+ 15% bent.
3,5	1 610	1 486	1 557	1 602	1 566
5,0				1 630	
5,4					1 645
6,9				1 652	
7,7					1 675
8,1	1 689	1 615	1 694	1 649	
8,6			1 669	1 667	1 690
8,8	1 719				
9,0		1 591			
9,2			1 670	1 704	
9,7				1 717	
9,9	1 710				
10,3			1 662	1 735	
10,9			1 743		
11,8				1 752	
12,8				1 741	
13,2	1 680				
15,3	1 620				
17,3	1 548				
<b>Proctor- dichtheid</b>	1 710	1 620	1 690	1 670	1 750
<b>Proctor- vochtgeh,</b>	9%	8,5%	8,5%	9%	11,5%

### 3.2 Doorlatendheid

De doorlatendheid is steeds in tweevoud bepaald. Ter vergelijking dient de doorlatendheid voor water, die voor elke meetserie afzonderlijk is bepaald. Toevallige invloeden van variërende eigenschappen van bentoniet en zand zijn daarmee geëlimineerd. De monsters zijn na het aanmaken bij het vochtgehalte behorende bij een bepaalde proctordichtheid verzadigd met leidingwater. De tijdsduur voor het verzadigen van TRISOPLAST monsters varieert van 21 tot 45 dagen. Daaruit blijkt dat TRISOPLAST zich relatief snel ontwikkelt. Na verzadiging is de doorlatendheid bepaald voor verschillende vloeistoffen. Om verzekerd te zijn van direct contact tussen monster en testvloeistof vanaf de eerste meetdag, is de ruimte onder het monster gevuld met de testvloeistof.

De invloed van zeewater op de doorlatendheid van TRISOPLAST is in drie varianten bepaald:

- 1 aanmaken van het (droge) monster met zeewater en direct met zeewater doorstromen;
- 2 aanmaken met 3,5% leidingwater en direct doorstromen met zeewater;
- 3 aanmaken en verzadigen met leidingwater en daarna doorstromen met zeewater.

De doorlatendheid is zeer hoog ( $> 10^{-5} \text{m.s}^{-1}$ ) van monsters TRISOPLAST die met zeewater zijn aangemaakt en direct zijn doorstroomd met zeewater.

De resultaten van de doorlatendheidsmeting staan als gemiddelden van duplo metingen in tabel 3 vermeld en gelden voor een omgevingstemperatuur van 20 °C.

*Tabel 3 Doorlatendheid van TRISOPLAST, aangemaakt met verschillende zandsorten, voor verschillende vloeistoffen*

Voorbehandeling	Dichtheid ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	Periode (dagen)	Doorlatendheid ( $*10^{-11} \text{m.s}^{-1}$ ) voor				
			water	ruwe olie	fenol	diesel	zeewater
Verzadiging met leiding water	1485	1- 17	3,2				2,5
		17- 17	2,8				2,9
		59-132	1,4	0,6	2,4	0,2	1,8
		132-182		0,2	1,6	0,4	
		182-196	1,2	0,1	1,5	3,5	2,2
		590-639	1,0	0,3		16,0	9,0
Na aanmaken met 3,5% water direct contact met zeewater	1485	1- 4					86,0
		4- 6					64,5
		6- 16					33,8

De testvloeistoffen zijn alle 'doorgebroken' in een periode van ca. 120 dagen. Er is aangenomen dat er sprake is van zuivere verdringing. De hoeveelheid vloeistof die in die periode in de meetcel is gestroomd, heeft dan het effectieve deel van het totaal poriënvolume ingenomen. Herleid is dat ca. 95% van het poriënvolume bestaat uit een inerte massa (water) en slechts 5% voor de doorlatendheid bepalend is. Gelet op de zeer hoge electrolytconcentratie van zeewater, is de invloed er van op de doorlatendheid van TRISOPLAST gering als dit zich vooraf met zoet water kan ontwikkelen. De hoeveelheid water die tijdens de aanmaak is gebruikt, 3,5%, is daarvoor onvoldoende blijkens de daarbij gemeten relatief hoge doorlatendheid. Ruwe olie heeft geen invloed op de doorlatendheid, terwijl diesel een iets nadelige invloed heeft. De contactduur (~21 maanden) met diesel is daarvoor bepalend. Overigens is de doorlatendheid van  $16*10^{-11} \text{m.s}^{-1}$  nog steeds laag.

*Tabel 4 Doorlatendheid van TRISOPLAST voor aceton en mierenzuur*

Vloeistof	Meetduur (dagen)	Doorlatendheid ( $*10^{-11} \text{m.s}^{-1}$ )
water	50	0,6
aceton	50	0,4
mierenzuur (~100%)	50	niet meetbaar

De doorlatendheid voor aceton en mierenzuur is in tabel 4 weergegeven. De doorlatendheid voor mierenzuur is niet meetbaar omdat dit zuur een reactie aangaat met de calciumcarbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ) in bentoniet waarbij  $\text{CO}_2$ -gas is gevormd. Deze reactie is vastgesteld door mierenzuur te laten reageren met zuivere natriumverrijkt bentoniet en met bentonietpolymeer. Het gevormde kooldioxide gas verhoogt de druk onder het monster en perst de vloeistof in de meetbuis omhoog, waardoor de doorlatendheidsmeting niet goed kan worden uitgevoerd. Gedurende de meetperiode is geen significante invloed van aceton op de doorlatendheid van TRISOPLAST vastgesteld.

De doorlatendheid van mengsels 'Grontmij'-zand met verschillende toevoegingen is in tabel 5 weergegeven. Uit deze tabel blijkt dat de niet gedetermineerde stof in dit zand de functie van bentoniet (opvullen poriën door zwelling) volledig remt. Kennelijk is deze stof in staat om de kationen van het adsorptiecomplex van de bentoniet te verdrijven en deze bindingsplaatsen te bezetten. De hoeveelheid van deze stof lijkt echter beperkt, omdat verdubbeling van de bentoniettoeslag wel een lage doorlatendheid oplevert, die goed overeenkomt met de standaard zandbentonietmengsels. Mengen van dit zand met TRISOPLAST resulteert in een zeer lage doorlatendheid.

*Tabel 5 Doorlatendheid voor water van mengsels met 'Grontmij'-zand*

Toevoeging	Droog volume gewicht ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	Meetduur (dagen)	Doorlatendheid ( $* 10^{-11}\text{m.s}^{-1}$ )
8% Bent.	1 670	1	10 700 - 25 410
8% Bent.	1 536	1	12 000 - 71 300
15% Bent.	1 750	45	9,6
15% Bent.	1 610	45	11,1
TRISOPL.	1 690	200	1,1
TRISOPL.	1 555	200	4,4

Resultaten van de doorlatendheidsmeting van TRISOPLAST waarin fijn zand is gebruikt zijn in tabel 6 weergegeven.

*Tabel 6 Doorlatendheid voor water van mengsels met fijn zand*

Toevoeging	Droog volume gewicht ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	Meetduur (dagen)	Doorlatendheid ( $* 10^{-11}\text{m.s}^{-1}$ )
TRISOPL.	1490	1- 37	4,1
		54- 150	1,4
		150- 200	1,2

Uit tabel 6 blijkt dat bij een proctor dichtheid van 92% met fijn zand een zeer lage doorlatendheid wordt verkregen.

De doorlatendheid van vormzand met verschillende toeslagen is in tabel 6 gepresenteerd.

Tabel 7 laat zien de doorlatendheid van vormzand al een vrij laag is. Toevoeging van 2% bentoniet verlaagt de doorlatendheid met ca. 25%, terwijl de verlaging 85% is met een toevoeging van 2% bentonietpolymeer (aangeduid als TRISOPL.). Hieruit blijkt dat de polymeer een zeer positief effect heeft op de afdichtende werking.

*Tabel 7 Doorlatendheid voor water van mengsels met vormzand*

Toevoeging	Meetduur	Doorlatendheid (dagen)(*10 <sup>-11</sup> m.s <sup>-1</sup> )
0% bent.	50	6,7
2% bent	50	5,2
2% TRISOPL.	50	0,9

## 4 Discussie

De lage doorlatendheid van mengsels van zand en bentoniet en zand en bentoniet-polymeermengsels berust op de eigenschap van bentoniet en de bentonietpolymeer om bij opname van water te zwellen. Het volume neemt daardoor toe en vult aanwezige poriën in het zandskelet op en blokkeert deze. De fractie van voor het transport van vloeistoffen effectieve poriën neemt daardoor drastisch af. De geabsorbeerde hoeveelheid water kan dus als inerte massa worden beschouwd. De zeer lage doorlatendheid van zandbentoniet en TRISOPLAST moet dus worden toegeschreven aan een zeer sterke afgenomen volume effectieve poriën. Uit de hoeveelheid in een monster gestroomde hoeveelheid ruwe olie en de tijd waarna deze olie 'doorbrak', is een effectief poriënvolume afgeleid van ca. 5%. TRISOPLAST is daarin effectiever dan zandbentoniet. Het polymeer in TRISOPLAST vormt met bentoniet een ruimtelijke structuur waarbinnen water in een inerte toestand kan worden vastgehouden.

Het zwelvermogen van bentoniet wordt bepaald door de verhouding tussen een- en meerwaardige geadsorbeerde ionen aan het oppervlak van de kleikristallen, de totale concentratie van ionen in de bodemoplossing en voorts door de diëlectrische eigenschappen van het oplosmiddel (Boels et al., 1993). Een verhoogde electrolytconcentratie of veranderingen in de verhouding tussen een- en meerwaardige ionen (Quirk en Schofield, 1955; Reeve en Tamaddoni, 1965; McNeal en Coleman, 1966; McNeal et al., 1966) of afnemende diëlectrische eigenschappen (Anderson et al., 1985) verlagen het zwelvermogen en daardoor het volume inert water. Weiss (1989) noemt een aantal groepen van stoffen die de doorlatendheid van klei kunnen beïnvloeden:

- zouten van alkali en alkaline kationen;
- zouten van zware metalen;
- organische componenten, onder te verdelen in:
  - \* polaire, in water oplosbare neutrale moleculen;
  - \* apolaire of minder polaire componenten die slecht of moeilijk oplosbaar zijn in water en die alleen reageren met het buitenoppervlak van kleimineralen;
- complexe liganden die de oplosbaarheid en de lading van metaalionen kunnen veranderen;
- organische kationen waarmee ionenuitwisseling met het kleimineraal kan plaats vinden.

Uit onderzoek van Weitz et al., 1994, is gebleken dat het polymeer in TRISOPLAST een belangrijk deel van de reactieve plaatsen aan het oppervlak van het kleimineraal bezet, waardoor de kationomwisselcapaciteit drastisch is verlaagd. TRISOPLAST is daardoor ongevoelig voor sterke zuren en basen.

Uit de positieve werking van TRISOPLAST in een zand waarin een van nature voorkomende stof zit die de zwelcapaciteit van bentoniet tot vrijwel nul reduceert, kan worden geconcludeerd dat de binding tussen het polymeer en bentoniet (klei) zeer hecht is. De slechts geringe toename van de doorlatendheid wanneer reeds verzadigde

TRISOPLAST langdurig in contact staat met zeewater of diesel, doet vermoeden dat een aanzienlijk volume water is ingesloten in de ruimtelijke structuur van polymeer en bentoniet, waaruit water niet of nauwelijks kan ontsnappen ondanks de grote osmotische potentiaal gradiënt. De (ruimtelijke) structuur van het polymeer-bentonietcomplex wordt nauwelijks beïnvloed door vloeistoffen met een zeer hoge electrolytconcentratie.

Voor de beoordeling van de doorlatendheid voor andere vloeistoffen dan water dient het effect van de specifieke dichtheid en de viscositeit van de andere vloeistof in de beschouwing te worden betrokken. Als alleen de specifieke dichtheid en de viscositeit van de vloeistoffen een rol spelen, dan geldt voor de verhouding tussen de doorlatendheid voor vloeistof, l, en voor water (H<sub>2</sub>O):

$$\frac{K_l}{K_{H_2O}} = \frac{\rho_l}{\rho_{H_2O}} \frac{\eta_{H_2O}}{\eta_l}$$

Hierin is:

- $\rho$  specifieke dichtheid van de vloeistof
- $\eta$  viscositeit van de vloeistof
- $K_l$  doorlatendheid voor zekere vloeistof
- $K_{H_2O}$  doorlatendheid voor water

Gegevens van enkele vloeistoffen zijn ontleend aan 'Handbook of Chemistry and Physics', 35<sup>th</sup> edition, 1953-1954, USA, Cleveland Ohio, Chemical Rubber Publishing CO, en in tabel 9 weergegeven. De viscositeit van diesel en ruwe olie is geschat, hun specifiek gewicht is gemeten.

Tabel 8 Berekende en gemeten verhouding tussen doorlatendheid voor bepaalde vloeistof en voor water

Vloeistof	Viscositeit (centipoise)	Dichtheid (kg.m <sup>-3</sup> )	K <sub>l</sub> /K <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	
			berekend	gemeten
Water	1,005	995	1,0	1,0
Aceton	0,327	790	2,4	0,67
Diesel	0,652	830	~1,3	16
Ruwe olie	~1,5	810	~0,5	0,3

De berekende verhouding tussen doorlatendheid voor een bepaalde vloeistof en water in tabel 8, toont slechts een beperkte relatie met de metingen. De doorlatendheid voor aceton zou veel groter moeten zijn dan is gemeten, terwijl de gemeten doorlatendheid voor diesel veel lager zou moeten zijn. Als de diëlectrische eigenschappen van aceton invloed zouden hebben, dan zou de doorlatendheid voor aceton veel groter moeten zijn geweest dan voor water en groter dan volgens de verhouding in tabel 8 zou worden gevonden. De diëlectrische constante van diesel en ruwe olie, is nog zeer veel lager dan die van aceton. Als de diëlectrische eigenschappen invloed hebben, zou de berekende doorlatendheid voor diesel en voor ruwe olie aanzienlijk groter moeten zijn dan volgens tabel 8 is gegeven. Uit de doorlatendheid voor diesel lijken de diëlectrische eigenschappen invloed te hebben. De resultaten van ruwe olie en



aceton weerspreken dit effect. Voorlopig lijkt geconcludeerd te kunnen worden dat de invloed van diëlectrische eigenschappen van de testvloeistof geen bewijsbare invloed hebben op de doorlatendheid voor die vloeistoffen. Evenmin lijkt de polariteit van de vloeistoffen een rol te spelen.

Men kan concluderen dat TRISOPLAST een vrijwel inert materiaal is als het zich door opname van voldoende (zoet) water volledig heeft ontwikkeld. Het experiment waarin monsters met slechts 3,5% water zijn aangemaakt voor de meting met zeewater begon, laat zien dat met de beperkte hoeveelheid water al een ruimtelijke structuur is ontstaan, zij het niet volledig.

Voor toepassingen in constructies wordt aanbevolen voorzieningen te treffen om TRISOPLAST volledig te laten ontwikkelen. Nog onderzocht zou moeten worden bij welk minimum vochtgehalte TRISOPLAST zich nog juist volledig ontwikkelt. Gelet op de toegenomen doorlatendheid voor diesel, wordt aanbevolen om in constructies waar zulke vloeistoffen bij calamiteiten tijdelijk geborgen moeten worden binnen de afdichtingsconstructie, ook voorzieningen aan te brengen om de weggestroomde vloeistof gemakkelijk terug te winnen.

## Literatuur

Anderson, D.C., K.W. Brown en J.C. Thomas, 1985. 'Conductivity of compacted clay soils to water and organic liquids'. *Water management and research* 3, p. 339-349.

Beuving, J., 1984. *Vocht- en doorlatendheidskarakteristieken, dichtheid en samenstelling van bodemprofielen in zand-, zavel-, klei- en veengronden*. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) (sinds 1988 opgegaan in DLO-Staring Centrum), Rapport 10, 26p.

Boels, D., E.P.W. Koenis en E.M. Loovers, 1993. *Geschiktheid van tertiaire kleien en waterglas voor afdichting van afval- en reststofbergingen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 291, 42 p.

Boels, D., 1995. *Toepassingsmogelijkheden van vormzand voor de afdichting van afval- en reststofbergingen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 406.

Hodgman, C.D., R.C. Weast and C.W. Wallace (eds.) 1953. *Handbook of Chemistry and Physics*. USA, Ohio, Cleveland, Chemical Publishing CU.

Hoeks, J., H.P. Oosterom, D. Boels, J.F.M. Borsten, K. Strijbis & W. ter Hoeven, 1990. *Handleiding voor ontwerp en constructie van eindafdichtingen van afval- en reststofbergingen*. Wageningen, Staring Centrum, Rapport 91, 172p.

McNeal, B.L. en N.T. Coleman, 1966. 'Effect of solution composition on hydraulic conductivity'. *Soil Science Society of America, Proceedings Vol.30*, p. 308-312.

McNeal, B.L., W.A. Norvell en N.T. Coleman, 1966. Effect of solution composition on the swelling of extracted soil clays. *Soil Science Society of America, Proceedings Vol.30*, p. 313-317.

Quirk, J.P. en R.K. Schofield, 1955. 'The effect of electrolyte concentration on soil permeability'. *Journal of Soil Science*, Vol.6, No.2, p. 163-178.

Reeve, R.C. en G.H. Tamaddoni, 1965. 'Effect of electrolyte concentration on laboratory permeability and field intake rate of a sodic soil'. *Soil Science*, Vol.99, No.4, p. 261-266.

Weiss, A., 1989. 'About sealing of waste disposals by clays with special consideration of organic compounds in percolating water'. *Applied Clay Science* 4, p. 193-209.

Weitz, A.M., D.Boels, H.J.J. Wieggers en J.J. Evers-Vermeer, 1994. *Toepassingsmogelijkheden van TRISOPLAST voor de afdichting van afval- en reststofbergingen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 300, 58p.