

## BIJLAGE E

### **GEOTECHNIEK**

- E1      Uitvoeringsmogelijkheden
- E2      Steunvloeistoffen voor actieve wanden

## INHOUD

E1	<b>Uitvoeringsmogelijkheden</b>	1
1	Installatiemogelijkheden van de barrière	1
2	Hydraulische ondersteuning	1
2.1	Mechanisme	1
2.2	Uitvoeringswijze	3
2.3	Voordelen van de methode	5
2.4	Beperkingen van de methode	5
2.5	Plaatsen en verwijderen van cassettes	5
2.6	Verwerkingsaspecten van afbreekbare polymeren	6
2.7	Risico's van de werkmethode	6
3	Mechanische begrenzing van de ondersteuning	6
3.1	Uitvoeringswijze	6
3.2	Voordelen van de methode	8
3.3	Beperkingen van de methode	8
3.4	Plaatsen en verwijderen van cassettes	9
3.5	Risico's van de werkmethode	9
4	Globaal kostenvergelijk van beide methoden	9
5	Intensivering van de watertoestroming	9
6	Conclusie	10
7	Voorstel voor een praktijkproefneming	10
E2	<b>Steunvloeistoffen voor actieve wanden</b>	11
1	Inleiding	11
1.1	Installatietechnieken en ondersteuningswijze bij de aanleg van een actieve wand	11
1.2	Installeren van een actieve wand met een steunvloeistof	11
1.3	Leeswijzer	11
2	Verstopping van het grondmassief	12
3	Overzicht van polymeren	13
4	Onderzoek naar de steunvloeistof	14
4.1	Inleiding	14
4.2	Samenstelling van de steunvloeistof	14
4.2.1	Uitgangspunt	14
4.2.2	Aanmaak van de mengsels	14
4.2.3	Testresultaten	14
4.3	Onderzoek naar de natuurlijke afbraaksnelheden	15
4.4	Onderzoek naar de invloed van het mengen	16
5	Kosten van de steunvloeistof	16
6	Conclusies en aanbevelingen	17

## E1 Uitvoeringsmogelijkheden

### 1 Installatiemogelijkheden van de barrière

Voor het installeren van de actieve barrière moet de grond in het wandtracé vervangen worden door het gewenste barrièremateriaal (b.v. zeoliet). Zowel tijdens het ontgraven van de grond als nadat het gat op diepte is, moet het gat blijven openstaan totdat het barrièremateriaal is gestort. Het gat moet hiertoe zijdelings worden gesteund. Dit kan op twee principiële verschillende wijzen worden gerealiseerd:

- het gat wordt gesteund door de druk van een spoeling in het gat: een hydraulische ondersteuning;
- de wand wordt mechanisch ondersteund door een buis of soortgelijk.

Beide methoden hebben hun specifieke kenmerken en eisen.

### 2 Hydraulische ondersteuning

#### 2.1 Mechanisme

De sleufwand wordt gesteund door het drukverschil tussen de spoelingsdruk in de sleuf en de grondwaterdruk in het grondmassief. Er is sleufstabiliteit als dit drukverschil groter is dan de (ge-reduceerde) korreldruk vanuit het grondmassief.

Essentieel voor dit mechanisme is de aanwezigheid van een waterremmende 'cake' op de sleufwand. Deze 'cake' moet aan de volgende twee eisen voldoen:

1. De cake moet voldoende treksterkte bezitten om voornoemd vloeistofdrukverschil op de korrels over te brengen. Bij grofkorrelig materiaal zijn de poriën groot en moet de cake een grote overspanning overbruggen; een sterke cake is vereist. Indien de spoeling hieraan niet voldoet, zal de spoeling het grofkorrelige materiaal binnendringen en ook druk uitoefenen achter de korrels. De buitenste korrels vallen niet uit de wand indien [DIN 4126]:

$$\tau_F \geq \frac{d_{10} \cdot \gamma''}{\text{tg } \varphi}$$

met:  $\gamma'' = (1 - n)(\gamma_s - \gamma_F)$

waarin:

- n is het poriëngehalte (vb. 38 %);
- $\gamma_s$  is het soortelijke gewicht van de korrels in het grondmassief (vb. 26,5);
- $\gamma_F$  is het volumieke gewicht van de steunvloeistof (vb. 10,5);
- $\varphi$  is de hoek van inwendige wrijving.

De sterkte van de cake wordt uitgedrukt in de schuifsterkte  $\tau_F$  van de gebruikte spoeling (de schuifsterkte wordt ook 'zwichtspanning' genoemd). Bij de aanverwante diepwandtechniek zijn bentonieten in gebruik met schuifsterkten van 10 à 20 N/m<sup>2</sup>. Deze waarden lijken laag, maar zijn toereikend voor een goede cakevorming in zelfs matig grof zand; ze voldoen in nagenoeg elke Nederlandse grondslag. Bij grovere grondslag worden vulstoffen toegevoegd met het doel de grove poriën af te stoppen.

Voor het evenwicht van de afschuivende grondwig is de indringingsdiepte s van de spoeling eveneens van belang (zie fig. 1).

Onderin de sleuf bedraagt de indringingsdiepte:

$$S = \frac{h_1 \cdot \gamma_F}{f_{s0}}$$

waarin:

$h_1$  is de diepte beneden het spoelingsniveau;

$\gamma_F$  is het volumieke gewicht van de steunvloeistof;

$f_{s0}$  is het maximaal realiseerbare verhang van de steunvloeistof in het korrelskelet.

De ideale situatie is die waarbij de steundruk werkt als op een waterdicht membraan: 100 % van de vloeistofdruk ( $= F_H$ ) wordt op de grond overgebracht.

Naarmate de steunvloeistof het grondpakket verder binnendringt, is ze minder effectief. Hoe kleiner het realiseerbare verhang, hoe minder de stromingsweerstand in de poriën de korrels ondersteunt.

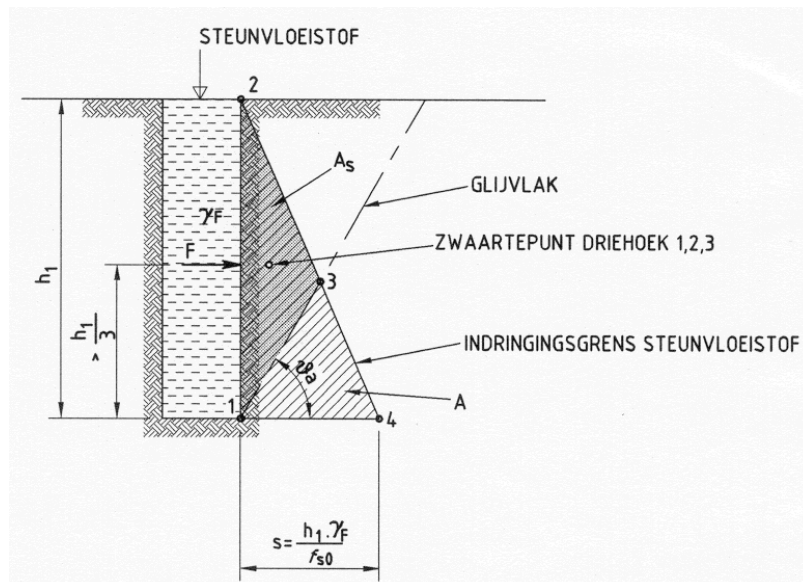


Fig. 1. Steundruk door vloeistof in de sleuf.

In figuur 1 (uit DIN 4126) wordt deze invloed tot uitdrukking gebracht in de verhouding van oppervlak  $A_s/A$ . Als totale stromingsweerstand resteert dan  $F = F_H \cdot A_s/A$ . Bij grover bodemmateriaal is de  $F$  weliswaar kleiner, maar de bodem heeft daarentegen meestal betere wrijvingeigenschappen. De sleufstabiliteit blijft daardoor desondanks voldoende.

- De cake moet voldoende taatheid bezitten om ondanks het geweld tijdens het graven zijn functie te blijven vervullen. Deze taatheid is verzekerd als de grenslaag dun is en sterk: een dunne buigzame cake is beter dan een dikke laag waarin slibdeeltjes en dergelijke zijn opgenomen.

De cake, zoals toegepast tijdens het graven van de actieve barrière, moet na het storten van het barrièremateriaal geheel worden afgebroken. De hiervoor geschikte polymeren worden in bijlage E2 besproken.

## 2.2 Uitvoeringswijze

Voordat de sleuf wordt gegraven, zijn aan het maaiveld 2 geleidebalken geplaatst. Het doel van deze balken is 3-ledig:

1. sleufbegrenzing aan het maaiveld; de balken scheiden in de definitieve fase het barrièremateriaal van de naastliggende grond: vervuiling van het barrièremateriaal wordt hierdoor voorkomen;
2. zijdelingse steun voor de grond nabij het maaiveld tijdens het graven;
3. ondersteuning van de stortkoker.

De uitvoeringswijze van een dergelijke wand is in figuur 2 schematisch weergegeven. Als wanddikte wordt gedacht aan een range van 0,60 ... 1,50 m<sup>1</sup>.

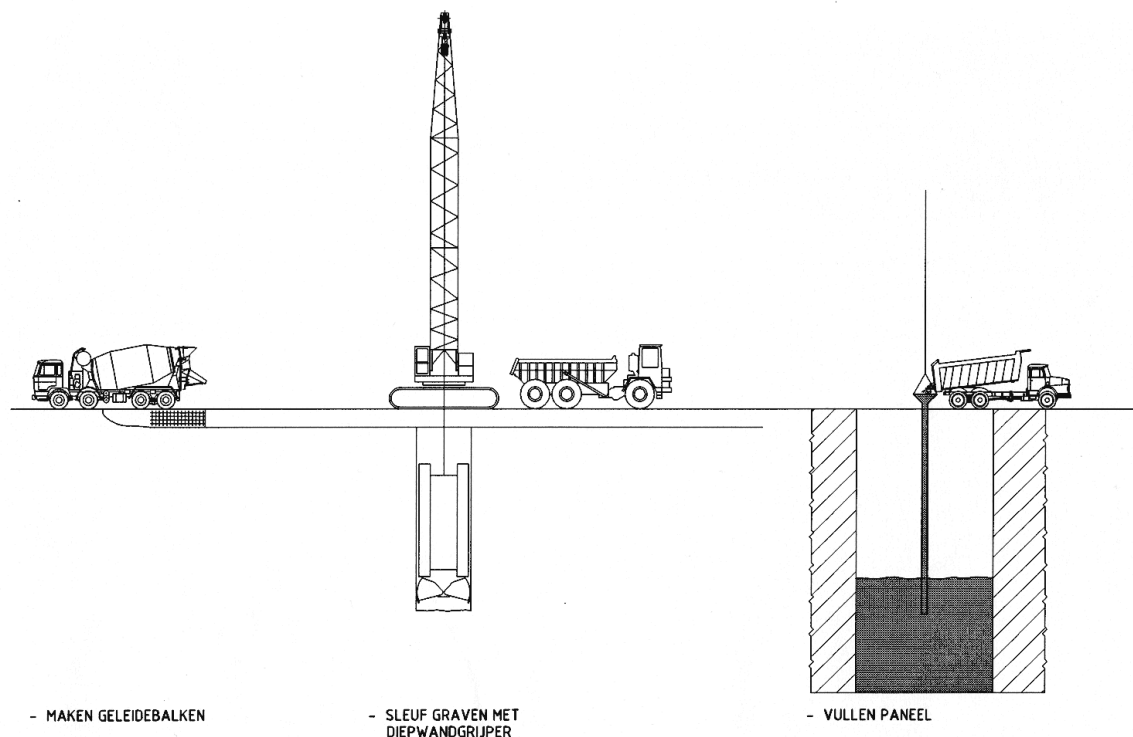


Fig. 2. Uitvoeringswijze van de 'Actieve Barrière'.

De sleuf wordt in aaneensluitende secties van 6 m<sup>1</sup> lengte uitgevoerd; per sectie wordt eenzelfde cyclus van werkzaamheden gevolgd.

Een kortere sleuflengte kan nodig zijn met het oog op de sleufstabiliteit. De sleuf wordt met een zware grijper gegraven. Tijdens het graven houdt men de sleuf voortdurend gevuld met een afbreekbare suspensie, die - zoals bovenstaand genoemd - in staat is een dunne taaie huid over het korrelskelet te spannen.

Zodra de sleuf op diepte is en is opgeschoond, wordt een voegmal B geplaatst op 6 m<sup>1</sup> afstand van het vorige paneel (zie fig. 3). In het sleufdeel tussen voegmal A (die het vorige paneel begrensd) en voegmal B wordt een stortkoker ø250 mm neergelaten. De onderkant van de koker reikt tot circa 0,50 m<sup>1</sup> boven de bodem van de sleuf; de koker hangt óp de geleidebalken.

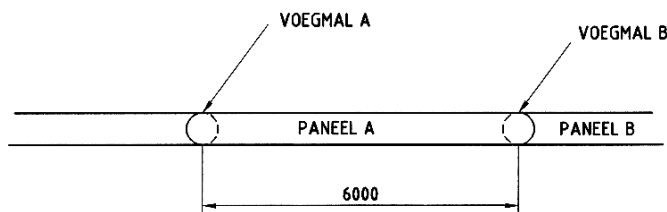


Fig. 3. Gegraven sleuf met begrenzingsbuizen.

Vervolgens wordt korrelige barrièremateriaal (b.v. zeoliet) via de stortkoker op de bodem van de sleuf gestort. De eerste charge moet voldoende groot zijn om ná beëindiging van het storten de onderkant van de koker in het gestorte materiaal te hebben. Deze methode blijkt zeer effectief bij het storten van betonspecie in een diepwandsleuf. Als de koker bóven het beton zou blijven, wordt bijna onvermijdelijk slib ingesloten in het stortmateriaal. Dit verlaagt de doorlatendheid van de wand en is nadelig voor het later goed functioneren van de wand.

Ten behoeve van een goede verdringing van de suspensie door het stortmateriaal is een voldoende grof en zwaar barrièremateriaal vereist. Immers, de korrels moeten onder hun eigen gewicht door de stortkoker omlaag stromen; de steunvloeistof in de koker bemoeilijkt dit. Zeker als de korrels droog in de koker worden gestort, is er veel risico op gewelfvorming in de koker. Het specifieke gewicht is moeilijk beïnvloedbaar, de korrels daarentegen kunnen in de fabriek op de gewenste grootte worden geproduceerd.

Bij het daadwerkelijk maken van een wand zullen - voorafgaande aan de feitelijke wand - stortproeven moeten worden gedaan om de minimaal benodigde korrelgrootte proefondervindelijk vast te stellen.

De uiteindelijke keuze van de korrelafmetingen zal in samenhang met het gewenste contactoppervlak en de gewenste filtereigenschappen plaatsvinden, omdat bij een grof materiaal wellicht onvoldoende contactoppervlak tussen het doorstromende grondwater en het barrièremateriaal aanwezig is. Zou dit leiden tot de noodzaak van fijner materiaal, dan moet wellicht de stortwijze van het barrièremateriaal worden aangepast.

Het storten gaat in charges totdat de sleuf is gevuld. Ook de voegmal A wordt gevuld, waarna deze wordt getrokken. De voegmallen zijn prismatisch van vorm en hol. Tijdens het trekken zakt het barrièremateriaal uit de mal en blijft in de bodem achter. De sleuf wordt tenslotte aan de bovenzijde afgedekt om het binnendringen van vuil en oppervlaktewater te voorkomen.

Als variant op het gebruik van een grijper is de inzet van een hydraulische graafkraan te overwegen. Indien er weinig bochten in het tracé voorkomen en de kraan kan 'beentje-over' staan, kan deze werkwijze kosteneffectief zijn voor met name ondiepe sleuven.

Door het verschil in fijnheid van het natuurlijke bodemmateriaal en het barrièremateriaal zullen fijne delen van de bodem worden uitgespoeld naar het grove barrièremateriaal. Deze afvoer zet zich voort tot zich een natuurlijk filter heeft opgebouwd. Dit proces vereist dat ná het plaatsen van het barrièremateriaal de wand enige tijd gespoeld moet worden om deze meest fijne bestanddelen te verwijderen.

### 2.3 Voordelen van de methode

De realiseerbare sleufdiepte is onbegrensd vanuit het oogpunt van sleufstabiliteit. De paneelbegrenzingsen - in de vorm van voegmallen - noodzaken evenwel om bij diepten van meer dan 20 à 25 m voegmallen met koppelingen te gebruiken. Het koppelen/ontkoppelen bij zowel het plaatsen als het verwijderen vertraagt de voortgang. Ze heeft echter geen uitvoeringstechnische bezwaren.

### 2.4 Beperkingen van de methode

De 'cake', die (tijdelijk) de sleufwand sterk vloeistofremmend maakt, moet na het storten van het barrièremateriaal geheel worden afgebroken. De mate waarin dit wordt gerealiseerd, is bepalend voor de bruikbaarheid van deze werkmethode. In bijlage E2 wordt de afbreekbaarheid van de diverse polymeren besproken.

Om uitloop van korrels uit het vorige paneel te voorkomen, zal de ruimte tussen de voegmallen en de sleufwand redelijk afgedicht moeten zijn. Dit is nodig tijdens twee activiteiten:

- Ten tijde van het storten van de korrels in paneel A. Het risico bestaat dan dat ook de ruimte tussen de kopkant van de gegraven sleuf en de voegmal B volstroomt met korrels van het definitieve barrièremateriaal.
- Tijdens het ontgraven van paneel B. Als gevolg van het neerlaten en ophijzen van de grijper ontstaat vloeistofstroming in de sleuf, waardoor korrels uit paneel A kunnen worden weggespoeld.

De wijze van afdichting tussen voegmal en grond kan worden gerealiseerd met opblaasbare manchetten. Tijdens het plaatsen en verwijderen van de voegmal liggen ze opgesloten in de voegmal. Zodra de voegmal is geplaatst, worden ze door middel van waterdruk geëxpandeerd.

Naar verwachting kan een dergelijke voegmal geen standaard buisprofiel zijn, hoewel buizen wel een sterke voorkeur hebben vanwege hun robuustheid. De kosten van dergelijke voegmallen kunnen aanzienlijk zijn.

### 2.5 Plaatsen en verwijderen van cassettes

Tijdens de operationele fase zal het barrièremateriaal op gezette tijden op eventuele vervuiling gecontroleerd moeten worden. Daartoe worden in de productiefase cassettes in de sleuf geplaatst, bestaande uit geperforeerde roestvast stalen buizen  $\varnothing 134$  mm. (Als variant kunnen PVC-kunststofbuizen worden gebruikt; HDPE-buizen lijken minder geschikt, omdat ze vaak niet exact rond en recht zijn en daarom lastig te trekken).

De buizen worden omwikkeld met strak gespannen filterdoek of gaas: perforatieoppervlak van het doek is 60 %. De gaatjes  $D_{\text{gaas}}$  moeten voldoen aan  $4 \cdot D_{15\text{materiaal}} < D_{\text{gaas}} < 20 \cdot D_{15\text{materiaal}}$ . (Indien  $5 \cdot D_{85\text{materiaal}} < 20 \cdot D_{15\text{materiaal}}$  moet  $D_{\text{gaas}} < 5 \cdot D_{85\text{materiaal}}$ ;  $D_{15\text{materiaal}}$  heeft betrekking op het barrièremateriaal). In het onderhavige geval is  $D_{15\text{materiaal}} = 355 \mu\text{m}$ , en  $D_{85\text{materiaal}} \geq 2800 \mu\text{m}$ , zodat inderdaad de eerste relatie geldt. Aldus  $1400 \mu\text{m} < D_{\text{gaas}} < 7100 \mu\text{m}$ .

Bij het trekken van de cassettes zakt het gat in met als consequenties:

- zettingen van het maaiveld;
- de cassettes kunnen niet opnieuw worden geplaatst.

Dit houdt in dat voor onderzoek op meerdere tijdstippen meerdere cassettes aanwezig moeten zijn.

In een bebouwde omgeving zal maaiveldzetting bezwaarlijk zijn en biedt het plaatsen van de cassette in een filterbuis, zoals in 2.6 wordt besproken, een oplossing.

Als variant op het plaatsen en controleren van de cassettes kan een boring worden gemaakt. De verstoring van de korrelopbouw zal waarschijnlijk geen nadeel zijn, omdat het onderzoek naar de mate van vervuiling niet noodzaakt tot het behouden van de oorspronkelijke pakking.

## **2.6 Verwerkingsaspecten van afbreekbare polymeren**

In het vervolgonderzoek moet worden vastgesteld of de verwerking van afbreekbare polymeren bijzondere eisen stelt.

Indien achteraf mocht blijken dat de polymeren onvoldoende worden afgebroken dan wel dat restproducten achterblijven die de goede doorstroming van de wand frustreren/blokken, zal de wand moeten worden gespoeld. Hiertoe worden - achteraf - boorgaten  $\varnothing 450$  mm in de wand gemaakt, soortgelijk als voor een vacuumbemalingsbron en voorzien van een filterbuis  $\varnothing 250$  mm. De bronnen kunnen h.o.h.  $20 \text{ m}^1$  worden geplaatst.

Door in een bron water met schoonmaakmiddel te infiltreren en in de naastliggende bron effluent te onttrekken, wordt de wand gereinigd. Proefondervindelijk moet worden vastgesteld hóelang dit doorspoelen moet plaatsvinden voor afdoende effect.

De bronnen zullen na het doorspoelen worden gevuld met schone korrels.

Indien na enkele jaren het wandmateriaal opnieuw vervuild zou zijn door aangroei van organismen, zijn de bronnen leeg te zuigen met een jet-zuigsysteem en kan het doorspoelen worden herhaald.

## **2.7 Risico's van de werkmethode**

Een onbekend risico is gelegen in het achterblijven van restproducten uit het afbreekbare polymer.

## **3 Mechanische begrenzing van de ondersteuning**

Het gebruik van een verbuisd boorsysteem koppelt de eenvoud van het verwijderen van grond aan het ondersteunen van het gat. Bij dit systeem draait een avegaar en omhullende buis in tegengestelde richting: de avegaar voert de grond naar het maaiveld, terwijl de boorbuis de grond ondersteunt. De avegaar en buis zijn in verticale richting gekoppeld.

### **3.1 Uitvoeringswijze**

De wand wordt geproduceerd van elkaar oversnijdende kolommen. Zo kan bijvoorbeeld een boorbuis  $\varnothing 610$  mm worden gebruikt met een kolomafstand van 450 mm (zie fig. 4).

Na het inboren van het systeem avegaar-boorbuis wordt de holle avegaar (inwendige diameter  $\varnothing 300$  mm) gevuld met het barrièremateriaal. Hierna wordt de avegaar getrokken onder gelijktijdig bijvullen van de avegaarbuis. Dit proces wordt voortgezet tot voldoende materiaal is gestort om zeker te stellen dat - ná het verwijderen van de avegaar - de korrels tot het maaiveld reiken.



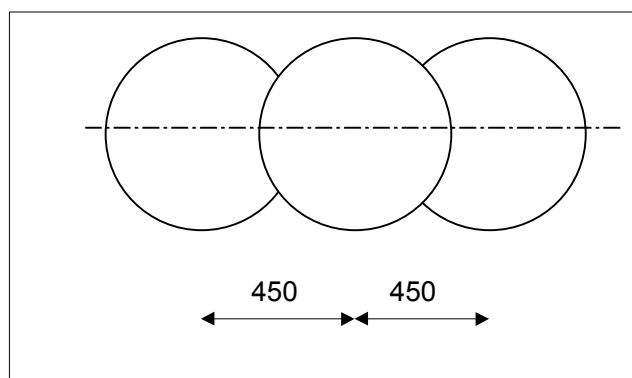


Fig. 4. Bovenaanzicht van oversneden kolommen.

In tabel 1 en 2 is voor respectievelijk buizen  $\varnothing 610$  mm en  $\varnothing 914$  mm de gerealiseerde minimumwanddikte aangegeven als functie van de afwijkingen in de kolomafstanden. Tevens is in de laatste 2 kolommen het materiaalverlies gegeven.

Tabel 1. Minimum lokale wanddikte bij kolommen  $\varnothing 610$  mm als functie van de kolomafstanden.

h.o.h. afstand van de kolommen (mm)	minimumwanddikte op nauwste doorsnede (mm)	gemiddelde wanddikte (m)	verloren materiaal ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ wand)	verloren materiaal (%)
450	0,41	0,55	0,100	18,3
420	0,44	0,57	0,129	23,5
480	0,38	0,54	0,074	13,5
400	0,46	0,58	0,149	27,2
500	0,35	0,53	0,058	10,6

Voor een wand van kolommen  $\varnothing 610$  mm h.o.h. afstand van 450 mm is het praktisch materiaalverbruik (incl. oversnijdingsverlies)  $0,65 \text{ m}^3/\text{m}^2$  wand.

Tabel 2. Minimum lokale wanddikte bij kolommen  $\varnothing 914$  mm als functie van de kolomafstanden.

h.o.h. afstand van de kolommen (mm)	minimumwanddikte op nauwste doorsnede (mm)	gemiddelde wanddikte (m)	verloren materiaal ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ wand)	verloren materiaal (%)
750	0,52	0,80	0,078	8,9
720	0,56	0,81	0,099	11,4
780	0,48	0,78	0,058	6,6
700	0,59	0,82	0,115	13,1
800	0,44	0,77	0,045	5,2

Voor een wand van kolommen  $\varnothing 914$  mm h.o.h. afstand van 750 mm is het praktisch materiaalverbruik (incl. oversnijdingsverlies)  $0,875 \text{ m}^3/\text{m}^2$  wand.

In tabel 1 en 2 is eenzelfde 160 mm overlap als uitgangspunt genomen, omdat de maatafwijkingen in het veld onafhankelijk zijn van de buisdiameter en door andere autonome aspecten worden bepaald.

Uit het vergelijk van tabel 1 en 2 blijkt het volgende:

- De wand van kolommen  $\varnothing 914$  mm vraagt 34 % meer materiaal dan die bij  $\varnothing 610$  mm (de gemiddelde wanddikte is dan ook 45 % groter). De minimumwanddikte neemt 26 % toe ten opzichte van de wand met kolommen  $\varnothing 610$  mm.
- Ondanks het grotere verlies per oversnijding bij een grotere buisdiameter (bij eenzelfde oversnijding van 160 mm), is het relatieve verlies per m<sup>2</sup> wand lager.
- Vergroting van de kolomoverlap (bij  $\varnothing 914$  mm) van 160 mm naar 210 mm leidt tot toename van het materiaalverlies van 8,9 % naar 13,1 %. De gemiddelde wanddikte neemt toe van 0,80 m naar 0,82 m, terwijl de minimumdikte 13 % toeneemt van 0,52 m naar 0,59 m.
- Afwijkingen ontstaan in de kolomafstanden tijdens de productie hebben een soortgelijk (relatief bescheiden) effect.

Geconcludeerd wordt dat een grotere kolomdiameter tot een efficiënter materiaalverbruik leidt (ook al is meer materiaal nodig, omdat de wand gemiddeld dikker is). Voor relatief ondiepe wanden tot 10 m minus maaiveld kan goed met buizen  $\varnothing 914$  mm worden gewerkt, mits de gemiddelde conusweerstand 10 MPa niet overschrijdt.

Voor een nauwkeurige maatvoering is een goede geleiding van de boorbuis aan maaiveld en in de kraan van essentieel belang. Hiertoe op maaiveld geleidebalken plaatsen, waardoorheen de boorbuis wordt gevoerd. De maatafwijkingen zijn dan beperkt tot 20 mm + 0,5 % van de diepte.

### 3.2 Voordelen van de methode

Een belangrijk onderscheid tussen een verbuisd systeem en het gegraven systeem (met spoeling) is dat - ná het trekken van het systeem avegaar-boorbuis - de doorstroming voor het grondwater volledig is hersteld.

Verdere voordelen van een oversneden palenwand zijn:

- een eenvoudiger productieproces doordat het aantal handelingen is beperkt;
- het oververbruik aan materiaal door het oversnijden is bescheiden;
- de 'sleuf'stabiliteit is altijd verzekerd omdat er nooit een gat openstaat.

Het materiaal, dat oversneden wordt, moet als verloren worden beschouwd, tenzij de ondergrond uit uitsluitend zand bestaat dat zich goed laat scheiden van het barrièremateriaal. Als het barrièremateriaal een aanmerkelijk lager volumegewicht heeft, geeft onderdompeling een grote scheidingsgraad.

Gezien de in 2.5 genoemde minimumdiameter van 1400  $\mu\text{m}$  kunnen de fijne zandfracties zeker verwijderd worden door zeven en flink spoelen. De grove zandfractie zal niet worden verwijderd. Gezien het natte en arbeidsintensieve karakter van beide methoden lijkt scheiding niet echt aantrekkelijk.

### 3.3 Beperkingen van de methode

Door het draaien van de boorbuis in kleihoudende lagen kan versmering van de gatwand optreden. In zandlagen treedt iets dergelijks niet op. Aangezien de doorstroming juist in zandlagen plaatsvindt, is versmering daarmee van ondergeschikt belang.

Bij de productie van de secondaire kolommen zal de boorbuis in omtreksrichting afwisselend door grond lopen en het reeds geplaatste definitieve barrièremateriaal in de primaire kolommen. Hierdoor kan grond als een filmlaag in de definitieve wand achterblijven en daarmee de door-

latendheid van de wand in lengterichting verkleinen. Aangezien de stromingsrichting loodrecht óp de wand is, is deze film van weinig belang.

### 3.4 Plaatsen en verwijderen van cassettes

Zoals bij de gegraven wand is aangegeven, kan de cassette het beste bestaan uit een roestvast stalen buis afgedekt met een filterdoek. Na het op diepte boren van het systeem avegaar-boorbuis kan de avegaar worden getrokken en de filterbuis worden geplaatst. Vervolgens wordt de ruimte tussen de filterbuis en de boorbuis gevuld gehouden met korrels tijdens het trekken van de boorbuis.

### 3.5 Risico's van de werkmethode

Het enige risico is dat met een boorbuis  $\varnothing 914$  mm de weerstand in zeer vaste grondlagen een te hoog draaimoment vereist. De eerder aangegeven maatvastheid komt daarbij niet in het geding.

## 4 Globaal kostenvergelijk van beide methoden

Onderstaande kosten zijn uitsluitend bedoeld als vergelijkingsprijzen voor een redelijk groot project. Lokale grondgesteldheid, obstakels, toegankelijkheid, grootte van het project zijn noodzakelijkerwijs buiten beschouwing gebleven.

Voor een  $100 \text{ m}^1$  lange sleuf;  $8,00 \text{ m}^1$  diep:

1. Graafmethode	Richtprijs totaal	f 550.000,--
Wanddikte $0,80 \text{ m}^1$		
Inclusief: Vulling met zeoliet	(basisprijs f 250,--/ton)	
Afbreekbare spoeling CMC	(basisprijs f 7.000,-- /ton)	
Geleidebalken		
Exclusief: Afvoer van uitkomende grond		
Levering elektrische energie en water		
Ontwerpkosten		
2. Verbuisde methode	Richtprijs totaal	f 400.000,-
Buisdiameter $\varnothing 914 \text{ mm}$ ; h.o.h. $750 \text{ mm}^1$		
Inclusief: Vulling met zeoliet		
Geleidebalken/frame		
Exclusief: Afvoer van uitkomende grond		
Levering elektrische energie en water		
Ontwerpkosten		

Gezien de forse aanpassingskosten voor het werken met een buis  $\varnothing 914 \text{ mm}$  gaat de voorkeur bij een eventuele proef onder de gegeven omstandigheden uit naar het gebruik van een buis  $\varnothing 610 \text{ mm}$ .

## 5 Intensivering van de watertoestroming

Het zuiveringssysteem veronderstelt een goede toestroming van de verontreiniging naar de wand. Indien wordt geconstateerd dat de natuurlijk grondwaterstroming (te) laag is en men de toestroming wil vergroten, bestaat de mogelijkheid de stijghoogte in de sleuf te verlagen ten opzichte van de grondwaterstand. Voor een dergelijke verlaging worden bronnen geplaatst in de wand die soortgelijk zijn als in 2.6 is besproken. Door een dergelijke verlaging wordt bovendien bereikt dat het grondwater van beide zijden naar de sleuf stroomt en in dezelfde tijd 2 keer zoveel volume wordt gezuiverd.

## 6 Conclusie

Bij vergelijking van beide methoden bestaat voorkeur voor een oversneden palenwand voor de relatief ondiepe wanden (tot 10 m beneden het maaiveld). Voor wanden tot 20 m<sup>1</sup> diepte bestaat dezelfde voorkeur, tenzij de ondergrond bestaat uit zeer vaste grondlagen. Deze voorkeur is gebaseerd op twee overwegingen:

1. prijstechnisch; een gegraven systeem vereist meer handelingen en is duurder;
2. risico's van eventueel disfunctioneren door het niet geheel verdwijnen van restanten van de afbreekbare polymeren.

## 7 Voorstel voor een praktijkproefneming

Om de functionaliteit van een actieve barrière te toetsen is een proefwand noodzakelijk. Onderzocht moet worden:

- De aangroei van verontreinigingen in de actieve barrière. Deze aangroei kan ontstaan door de opname van de beoogde verontreinigende stoffen uit het grondwater of andere stoffen uit het grondwater, dan wel door de instroom van oppervlaktewater vanaf het maaiveld.
- De doorlatendheid van de wand. Om een redelijke doorstroming te forceren moet een verhang kunnen worden ingesteld: bijvoorbeeld 0,50 m. Dit zal het beste kunnen met een gesloten wand in rechthoekige vorm binnen een verontreinigd gebied. Het verhang wordt ingesteld door een verlaging binnen de rechthoek. Omdat het vastleggingsproces wordt beïnvloed door het verhang, is een nadere afweging nodig omtrent dit aspect.
- De deugdelijkheid van de beoogde werkmethode.

Voorafgaande aan de praktijkproefneming zullen twee aspecten van de hydraulisch gesteunde wand onderzocht moeten worden:

1. de minimale korrelgrootte van het stortmateriaal om gewelfwerking te voorkomen (zie 2.2);
2. eventuele verwerkingseisen van de afbreekbare polymeren (zie 2.6).

## **E2      Steunvloeistoffen voor actieve wanden**

### **1      Inleiding**

#### **1.1      Installatietechnieken en ondersteuningswijze bij de aanleg van een actieve wand**

In bijlage E1 "Uitvoeringsmogelijkheden" wordt ingegaan op de verschillende installatietechnieken die mogelijk zijn voor de aanleg van een actieve barrière. Zowel tijdens het ontgraven van de grond als nadat het gat op diepte is, moet het gat blijven openstaan totdat het barrièremateriaal is gestort. Het gat moet hiertoe zijdelings worden gesteund. Dit kan op twee principiële verschillende wijzen worden gerealiseerd:

- het gat wordt gesteund door de druk van een spoeling in het gat: een hydraulische ondersteuning;
- de wand wordt mechanisch ondersteund door een buis of soortgelijk.

Bijlage E2 beperkt zich tot het graven met behulp van steunvloeistoffen en de bijzondere eisen die daaraan worden gesteld in het geval van het installeren van een actieve wand. Bij de mechanische ondersteuning worden geen boor- of steunvloeistoffen gebruikt en wijkt de techniek voor het installeren van een actieve wand niet of nauwelijks af van de techniek voor de aanleg van een diepwand, een fundering of een andere vorm van een civieltechnische constructie.

#### **1.2      Installeren van een actieve wand met een steunvloeistof**

Bij het installeren van een actieve wand met een hydraulische ondersteuning moet worden gelet op het feit dat geen gebruik kan worden gemaakt van de normaal gebruikelijke steunvloeistof (gebaseerd op bentoniet), omdat deze steunvloeistof de poriën in het omliggende zandmassief verstopt. De doorlatendheid neemt hierdoor af met als gevolg een te geringe toestroom naar en doorstroming van de wand. Er zullen bij het installeren van een actieve wand dus alternatieve steunvloeistoffen moeten worden gekozen. In principe zal voor een afbreekbare steunvloeistof worden gekozen.

Er is uitgebreide ervaring beschikbaar over het boren en graven met (afbreekbare) steunvloeistoffen en de daarvoor benodigde basismaterialen. Bij de olie- en gaswinning en bij de drinkwaterwinning worden bij het slaan van putten onder andere zetmeel en andere natuurlijke en (semi-)synthetische polymeren als basismateriaal voor afbreekbare steunvloeistoffen gebruikt. Ook bij horizontaal gestuurde boringen worden steunvloeistoffen gebruikt, die in het geval van de aanleg van een horizontale drain eveneens afbreekbaar dienen te zijn.

De aandachtspunten die spelen bij de keuze van een geschikte afbreekbare steunvloeistof voor het installeren van een actieve wand zijn:

- wat is de afbreekbaarheid van de steunvloeistof;
- wat is de invloed van het barrièremateriaal op de steunvloeistof;
- wat is de invloed van de steunvloeistof op het barrièremateriaal;
- wat moet de samenstelling van de steunvloeistof zijn in relatie tot de kosten.

#### **1.3      Leeswijzer**

Bijlage E2 beperkt zich tot een aantal elementen. In hoofdstuk 2 wordt stilgestaan bij de opbouw van de filtercake, leidend tot de gewenste tijdelijke verstopping van het grondmassief bij het installeren van een actieve wand. Hoofdstuk 3 vat voor polymeren en polymeregroepen gegevens samen met betrekking tot het gebruik als basis van een steunvloeistof. Hoofdstuk 4 gaat in op de afbreekbaarheid en de invloed van het mengen (en de mengenergie) op de steunvloeistof.

Hoofdstuk 5 gaat in op de samenstelling van de steunvloeistof in relatie tot de kosten. Hoofdstuk 6 sluit af met conclusies en aanbevelingen.

Opgemerkt wordt dat bij het gegevensoverzicht van de mogelijk te gebruiken polymeren al is uitgegaan van eisen die specifiek aan de steunvloeistof voor de installatie van een actieve barrière gesteld kunnen worden en die daarmee de dosering van de polymeren en de kosten bepalen.

## 2 Verstopping van het grondmassief

Om inzicht te krijgen in hoe de verstopping van het omliggende grondmassief kan plaatsvinden, is het van belang om te weten hoe de cakeopbouw plaatsvindt bij een gewone op bentoniet gebaseerde graaf- en/of boorvloeistof (het mechanisme is gelijk voor beide type vloeistoffen).

In figuur 1 zijn de verschillende processen die een rol spelen bij de opbouw van de filterlaag rond het boorgat weergegeven [Betonvereniging, 1997, Boortechnieken voor kleine ondergrondse infrastructuur, syllabus]. Zoals uit figuur 1 blijkt verloopt de opbouw van de filtercake in twee fasen.

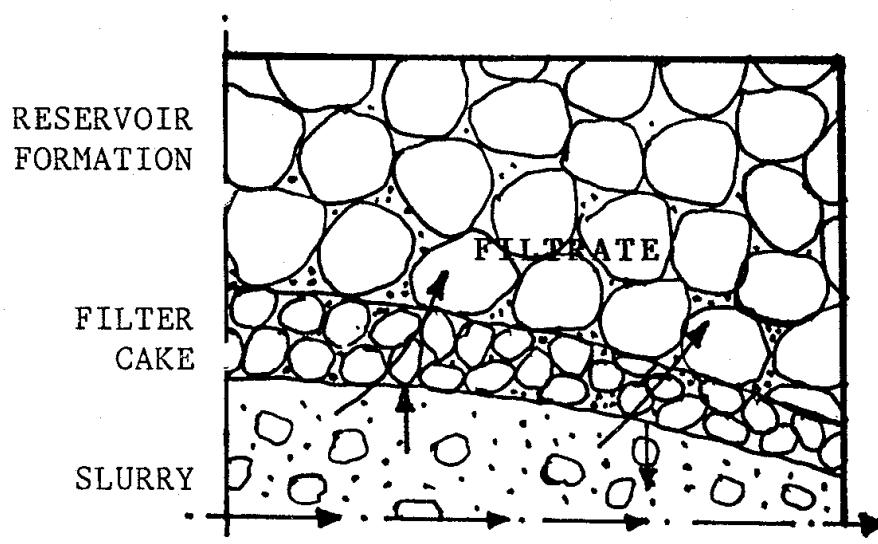


Fig. 1. Opbouw van de filtercake.

### *Fase 1: Indringing van de boorspoeling in de grond*

Tijdens deze fase verdringt een deel van de boorspoeling het tussen de gronddeeltjes aanwezige poriewater. De mate waarin dit gebeurt is een functie van:

- de korrelgrootte van de bodemdeeltjes;
- de zwichtspanning ( $\tau_0$ ) en de thixotropie van de spoeling;
- het drukverschil tussen de opgelegde druk van de spoeling en de heersende druk in het bodemmassief.

Op deze manier wordt de zogenoemde 'inwendige filtercake' gevormd tussen de bodemdeeltjes en de spoeling.

### *Fase 2: Vorming van de filtercake*

Doordat er als gevolg van de inwendige filtercake geen boorspoeling meer in de bodem dringt, wordt er een laagje aan de gatwand gevormd. Dit laagje bestaat uit de vaste delen van de spoeling en moet uiteindelijk zorgen voor de vorming van de glijlaag.

Bij polymeerspoelingen, waar weinig vaste delen aanwezig zijn, wordt de in fase 2 genoemde filtercake niet of nauwelijks gevormd. Alleen de 'inwendige filtercake' van fase 1 is aanwezig en zorgt voor de noodzakelijke tijdelijke verstopping van het grondmassief. Door afbraak zal na verloop van tijd de verstopping verdwijnen.

### 3 Overzicht van polymeren

Polymeren worden als basismateriaal gebruikt bij het aanmaken van boorvloeistoffen in de offshore. In tabel 1 zijn de belangrijkste polymeergroepen gerubriceerd. De volgende opmerkingen worden bij tabel 1 gemaakt:

- De afbreekbaarheid onder natuurlijke omstandigheden van de polymeersoorten neemt van boven naar beneden af.
- De synthetische polymeren zijn zeer stabiel, onder natuurlijke omstandigheden enige jaren.

Tabel 1. Overzicht van polymeersoorten.

type	basis	soort
natuurlijke polymeren	plantaardig	stijfsels Guar gum Locustbean gum
	bacterieel	Xanthan gum
semi-synthetische polymeren	cellulose	CMC (carboxymethylcellulose) HEC (hexaethylcellulose) CMHEC (carboxymethylhexa cellulose)
	Guar gum	hydroxypropyl Guar overige
	stijfsel	CM-stijfsel (carboxymethylstijfsel) HE-stijfsel (hexaethylstijfsel)
synthetische polymeren	acryl	polyacrylamides (PAA) polyacrylaten polycarboxylaten
	alkyleenoxiden	

Uit tabel 1 zijn een vijftal polymeren gekozen die als geschikt voor de aanmaak van een steunvloeistof voor de installatie van een actieve barrière kunnen worden beschouwd. De vijf polymeren zijn in tabel 2 met hun merknaam en soort vermeld. Alle genoemde polymeren zijn suikerketens en zouden op basis hiervan langs natuurlijke weg kunnen worden afgebroken.

Tabel 2. Overzicht van polymeersoorten die geschikt zijn voor de steunvloeistof voor de actieve barrière.

merknaam	soort	leverancier
Flocgel HV	stijfsel aangemaakt uit aardappelzetmeel	Avebe
CMC HV	carboxymethylcellulose	Akzo
Biobore	mengsel van zetmeel, Xanthan gum, CMC, wordt gebruikt bij het horizontaal gestuurd boren van drainages	Baroid
Guar gum	biopolymeer van de Guar boon	Baroid
Xanthan gum	biopolymeer	Cebo-Holland

## 4 Onderzoek naar de steunvloeistof

### 4.1 Inleiding

Voor de in tabel 2 aangegeven polymersoorten is het volgende onderzocht:

- de samenstelling van de steunvloeistof;
- de afbraaksnelheid van de aangemaakte steunvloeistof onder natuurlijke omstandigheden;
- de invloed van het mengen op de eigenschappen van de steunvloeistof.

### 4.2 Samenstelling van de steunvloeistof

#### 4.2.1 Uitgangspunt

Het uitgangspunt voor het onderzoek naar de samenstelling van de steunvloeistof is dat de spoeling de volgende reologische eigenschappen dient te bezitten:

- MF-viscositeit [DIN 4126]: circa 40 sec/dm<sup>3</sup>;
- Fliessgrenze [DIN 4126]: 5 - 15 N/m<sup>2</sup>.

Ter aanvulling van de verkregen eigenschappen is ook de Fann-viscositeit [API RP 13b] gemeten bij 600 en 300 t.p.m.

#### 4.2.2 Aanmaak van de mengsels

Op basis van ervaringen, die bij onder andere het boorspoelingsonderzoek in het verleden met de gekozen materialen zijn opgedaan, zijn de in tabel 3 weergegeven suspensies aangemaakt en getest.

Tabel 3. Suspensies.

polymeer	onderzochte samenstellingen (gram/liter)
Flocgel HV	10 & 15
CMC HV	5 & 10
Biobore	10
Guar gum	10 & 4
Xanthan gum	2

De polymeren zijn in het laboratorium gemengd met een laag-toeren menger bij circa 1000 t.p.m. Als aanmaakwater is leidingwater gebruikt. Deze keuze komt overeen met de meest gebruikelijke keuze bij de uitvoering. Ter vergelijking: de viscositeit van leidingwater is 2 cP gemeten bij 600 t.p.m.

#### 4.2.3 Testresultaten

De testresultaten zijn in tabel 4 weergegeven.

Tabel 4. Testresultaten.

polymeer	samenstelling (g/l)	MF-viscositeit (s/dm <sup>3</sup> )	Fliessgrenze (N/m <sup>2</sup> )	Fann-viscositeit (cP)	
				600 tpm	300 tpm
Flocgel HV	10	31	0	24	13
	15	37	9,7	40	25
CMC HV	5	38	5,6	28	20
	10	82	16,3	80	60
Biobore	10	36	9,7	32	24
Guar gum	4	41	9,7	120	116
	10	> 300	55,4	30	22
Xanthan gum	2	42	9,7	31	21



Uit tabel 4 zijn de volgende samenstellingen voor een steunvloeistof af te leiden:

- Flocgel HV: 10 gram/liter;
- CMC HV: 5 gram/liter;
- Biobore: 10 gram/liter;
- Guar gum: 4 gram/liter;
- Xanthan gum: 2 gram/liter.

#### 4.3 Onderzoek naar de natuurlijke afbraaksnelheden

De in 4.2 bepaalde suspensies zijn in een open container bewaard. Op verschillende tijdstippen is de viscositeit met de Fann-viscometer bij 600 t.p.m. gemeten. Hiermee is de biologische afbreekbaarheid onder aërobe omstandigheden getest. Het is gebleken dat met de aldus verkregen testresultaten een goed onderscheid kan worden gemaakt voor het doen van een uitspraak over de geschiktheid van de steunvloeistof. In figuur 2 zijn de testresultaten weergegeven.

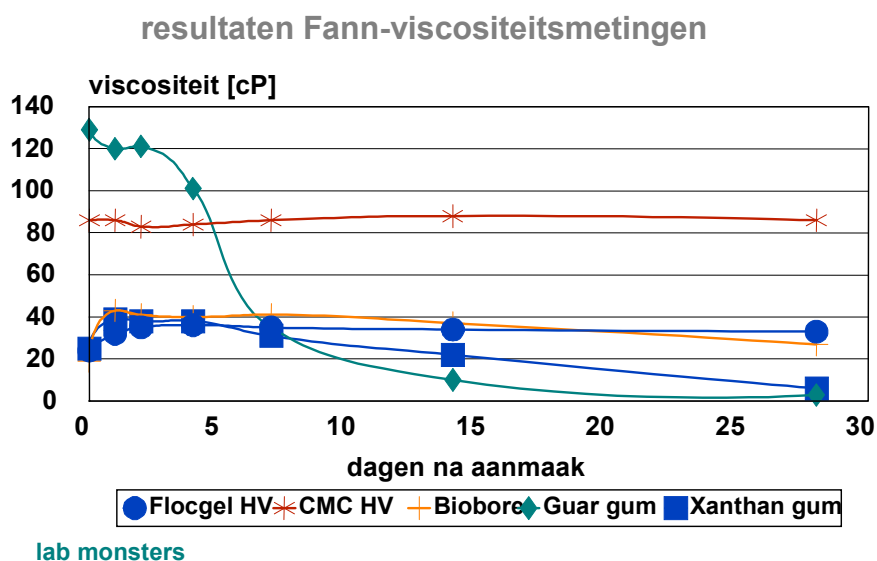


Fig. 2. Afbraak van polymeerspelingen.

Uit figuur 2 blijkt dat de tijdspanne waarover de afname van viscositeit optreedt per polymeer verschilt, namelijk:

- Guar gum: 1 à 2 dagen;
- Xanthan gum: 1 week;
- Flocgel HV: meer dan 4 weken;
- Biobore: 2 weken;
- CMC HV: meer dan 4 weken.

Overige opmerkingen, die bij het onderzoek worden geplaatst, zijn:

- Bij elk van de mengsels, behalve bij het mengsel met CMC HV, is schimmelgroei waargenomen.
- Ook is er bij elk mengsel, behalve bij het mengsel met CMC HV, een sterke rottingsgeur waargenomen.

In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat CMC HV waarschijnlijk niet geschikt is om in voornoemde toepassing als basismateriaal te dienen. Dit omdat de natuurlijke afbraak waarschijnlijk te langzaam gaat.

De biologische stabiliteit kan uiteraard worden verlengd door bepaalde toevoegingen (b.v. biociden). Ook kan de afbraak worden gestimuleerd, hetzij langs natuurlijke weg, hetzij langs chemische weg.

#### 4.4 Onderzoek naar de invloed van het mengen

In de praktijk worden bij de uitvoering graafspoelingen gemengd met een Suprator menger. Dit is een zogenoemde dispergeermenger, waarbij met een hoog toerental (ca. 5000 t.p.m.) wordt gemengd en gesuspenderd. Het voordeel van deze mengers is dat het materiaal bij deze hoge mengenergie direct in suspensie gaat. Het nadeel is echter dat de menger een dermate hoge energie aan de suspensie toevoegt dat polymeerketens kunnen worden gebroken.

Nagegaan is of de in 4.2 bepaalde suspensies gemengd kunnen worden met een dergelijke menger, zonder dat de gewenste eigenschappen negatief worden beïnvloed. Hiertoe zijn deze suspensies met een dispergeermenger aangemaakt en beproefd. In tabel 5 zijn de testresultaten weergegeven.

Tabel 5. Invloed van mengen.

polymeer	dosering (g/liter)	Fann-viscositeit bij 600 respectievelijk 300 t.p.m.		
		1 minuut mengen	2 minuten mengen	3 minuten mengen
Flocgel HV	10	10/5	7/3	3/1
CMC HV	5	28/20	28/18	27/19
Biobore	10	10/5	4/3	2/1
Guar gum	4	30/22	30/21	30/22
Xanthan gum	2	31/23	32/21	30/21

Uit tabel 5 blijkt dat Flocgel HV en Biobore wordt afgebroken door de mechanische krachten in de mengmachine. De overige polymeren (CMC HV, Guar gum en Xanthan gum) zijn wel stabiel in deze mengmachine.

#### 5 Kosten van de steunvloeistof

In tabel 6 zijn de vijf polymeren gerubriceerd naar dosering, prijs per ton en prijs per m<sup>3</sup> steunvloeistof.

Tabel 6. Polymeren gerubriceerd naar dosering, prijs per ton en prijs per m<sup>3</sup> steunvloeistof/graafspoeling.

polymeer	prijs per ton (f)	globale dosering (kg/m <sup>3</sup> )	materiaalkosten steunvloeistof (f/m <sup>3</sup> )
Flocgel HV	3.000	15	45
CMC HV	7.000	10	70
Biobore	10.500	10	100
Guar gum	2.500 (*)	10	25 (*)
Xanthan gum	25.000	2	50

(\*) De prijs van Guar gum is op dit moment een factor 2 hoger dan normaal. Dit omdat de oogst van de Guar boon afgelopen jaar is mislukt. De opgegeven prijs is de 'normale' prijs, zonder de marktwerving.

## **6 Conclusies en aanbevelingen**

Gelet op de testresultaten en de kosten van een steunvloeistof is het aan te bevelen om de volgende polymeren te gebruiken:

- Xanthan Gum in een dosering van 2 gram per liter;
- Guar gum in een dosering van 4 gram per liter.

Er dient Xanthan gum te worden gebruikt als men de spoeling wat langer wil gebruiken (regenereren).

De andere polymeren kunnen niet worden gebruikt als een dispergeermenger wordt gebruikt bij de aanmaak van de graafspoeling, omdat de polymeren dan mechanisch worden afgebroken tijdens het mengproces.