

Vertikale wanden voor het afschermen van verontreiniging, wat weten we ervan?

door ir Jan Maertens, Raadgevend Ingenieur, Docent KU Leuven.

Samenvatting:

In het kader van het beleidsondersteunend onderzoek i.v.m. bodemsanering heeft OVAM door het Laboratorium Reyntjens van de KU Leuven een studie laten uitvoeren met betrekking tot de aanwending van verticale schermen voor de isolatie van stortplaatsen en verontreinigde sites. Deze studie omvatte:

- een literatuur- en marktstudie voor het verzamelen van de beschikbare informatie
- het opstellen van richtlijnen voor het toepassen van verticale schermen ten behoeve van de bodemsanering
- een onderzoek naar de duurzaamheid van verticale schermen.

Heel wat beschikbare informatie werd samengebracht in de literatuurstudie. Op basis daarvan werden richtlijnen opgesteld i.v.m. de uitvoering en de controle van verticale schermen.

Voor heel wat technieken zijn er nog maar summiere gegevens beschikbaar. Voor het voorspellen van het gedrag op lange termijn van schermen welke volgens deze technieken worden uitgevoerd zullen er dus belangrijke extrapolaties moeten gemaakt worden.

I.v.m. de controle stelt er zich een fundamenteel probleem omdat de effectieve doorlatendheid van een uitgevoerd scherm niet nauwkeurig kan bepaald worden omwille van de onzekerheid betreffende de aansluiting van de wand met de onderliggende afscherpende laag en de mogelijke onderloopsheid van het scherm doorheen deze laag.

In afwachting van het beschikbaar worden van nieuwe technieken welke de globale controle van een scherm moeten mogelijk maken, zal er dus vooral aandacht moeten besteed worden aan de controles tijdens de uitvoering van het scherm zelf.

Ten einde zoveel mogelijk informatie te kunnen verzamelen betreffende het lange termijngedrag van verticale schermen ware het aangewezen om op enkele verontreinigde sites proeven op ware grootte uit te voeren met verschillende technieken, bv. door het uitvoeren van een aantal proefcellen waarbinnen pompproeven kunnen worden uitgevoerd.

## 1. Principe - Algemeenheden

Vertikale schermen worden regelmatig aangebracht voor de isolatie van stortplaatsen en van verontreinigde sites. Voor de uitvoering ervan wordt overwegend gebruik gemaakt van uitvoeringsmethodes welke reeds lange tijd worden toegepast in de funderingstechniek voor de beschoeiing van bouwputten of om de invloed van een grondwaterverlaging te beperken (fig. 1a en 1b).

De toegepaste uitvoeringsmethodes kunnen worden onderverdeeld in technieken waarbij:

- de grond over een zekere breedte wordt weggegraven en vervangen door een weinig doorlatend materiaal (slibwand- of diepwandmethode)
- de grond zijdelings wordt weggedrukt tijdens het inbrengen van een scherm (damplanken en smalwanden)
- de grond in-situ wordt behandeld of vermengd (injekties, jet-grouting).

De eisen welke aan verticale schermen worden gesteld zijn fundamenteel verschillend naargelang deze schermen al of niet worden gerealiseerd in combinatie met een actieve hydraulische afscherming (fig.2a en 2b).

Wanneer een actieve hydraulische afscherming wordt aangelegd bestaat de hoofdfunctie van de verticale wand erin om het op te pompen debiet zoveel mogelijk te beperken zodat de concentratie aan pollutanten in het opgepompte water voldoende groot is en de zuivering van het opgepompte water gemakkelijk kan verlopen. In dergelijke gevallen is het absoluut noodzakelijk dat de verticale wand een volledig gesloten scherm vormt d.w.z. de wand moet over de volledige omtrek van de verontreinigde site worden aangebracht en overal doorgetrokken tot in een weinig doorlatende laag, zodat de verankering van het scherm in de weinig doorlatende laag overal verzekerd is (fig.3).

Wanneer er geen actieve hydraulische afscherming wordt aangelegd fungeert het scherm als enige afscherming van de verontreiniging. De doorlatendheid van de wand is dan bepalend voor de hoeveelheid verontreiniging welke doorheen de wand kan stromen.

In het kader van het beleidsondersteunend onderzoek i.v.m. bodemsanering heeft OVAM door het Laboratorium Reyntjens van de KU Leuven een studie laten uitvoeren met betrekking tot de aanwending van verticale schermen voor de isolatie van stortplaatsen en verontreinigde sites. Deze studie omvatte:

- een literatuur- en marktstudie voor het verzamelen van de beschikbare informatie in verband met :
  - de materialen waaruit verticale schermen kunnen worden opgebouwd
  - de bestaande technieken voor het uitvoeren van schermen
  - de eisen en beproevingsmethoden voor de gebruikte materialen en technieken
  - de eisen en beproevingsmethodes voor de geplaatste schermen
  - eigenschappen van de grond waarin de schermen geplaatst kunnen worden en van het grondwater dat ermee in contact kan komen
- het opstellen van richtlijnen voor het toepassen van verticale schermen ten behoeve van de bodembescherming
- een onderzoek naar de duurzaamheid van verticale schermen.

## 2. Overzicht van de verschillende uitvoeringstechnieken

### 2.1. Vertikale schermen uitgevoerd volgens de slibwandmethode

De slibwand- of diepwandmethode bestaat erin om met behulp van een smal graafwerktuig (0,50 à 1,20m breed) een sleuf in de grond uit te graven en deze op te vullen met weinig doorlatende materialen. Tijdens de uitgravingsfase wordt de stabiliteit van de sleuf verzekerd door het inbrengen van een steunvloeistof.

De uitvoering kan continu geschieden of in een opeenvolging van primaire en secundaire panelen. Sleuven tot 8 à 10m diepte kunnen worden uitgegraven met behulp van een hydraulische kraan voorzien van een speciale graafarm. Voor sleuven tot 40m diepte wordt meestal gebruik gemaakt van een speciale kabelgrijper. Grotere sleufdieptes kunnen worden gerealiseerd mits het inzetten van een hydrofrees. Daarmee werden in Japan reeds wanden tot 120m diepte uitgevoerd.

Bij een uitvoering in twee fasen vindt het uitgraven van de sleuf plaats onder de bescherming van een steunvloeistof, meestal een water- bentonietmengsel, welke na het bereiken van de vooropgestelde diepte wordt vervangen door een weinig doorlatend materiaal, bv. gewapend beton, plastisch beton, een bentoniet- grondbmengsel of waterglas-grondbmengsel.

Bij een uitvoering in één fase fungeert de steunvloeistof (meestal een water-bentoniet cementmengsel) eveneens als weinig doorlatend materiaal. In sommige gevallen wordt in een aldus uitgevoerde wand een bijkomende afdichting (meestal een geomembraan of een stalen damwand), aangebracht ten einde de doorlatendheid van de wand te verminderen en de duurzaamheid ervan te verhogen. Ook de bestendigheid van de wand tegen verzakkingen of vervormingen van de omringende grond kan erdoor verbeterd worden.

## 2.2. Vertikale schermen aangebracht met zijdelingse grondverdringing

Vertikale schermen, welke worden aangebracht met zijdelingse grondverdringing hebben altijd een beperkte dikte. Ze bestaan ofwel uit geprefabriceerde elementen (stalen damplanken of geomembranen) of uit smalwanden van bentoniet-cement, welke door middel van speciale stalen profielen worden aangebracht.

Deze schermtypes bieden het grote voordeel dat de plaatsing ervan zeer snel verloopt en dat de kostprijs als gevolg daarvan meestal beperkt is. Stalen damwanden kunnen bovendien ook gerecupereerd worden.

Daartegenover staat dat dergelijke schermen zeer zorgvuldig moeten worden uitgevoerd ten einde te voorkomen dat de verschillende elementen niet goed op elkaar aansluiten, of dat het scherm niet overal in contact is met de onderliggende afdichtende laag.

Wanneer er stenen of zeer weerstandbiedende lagen voorkomen in de ondergrond, kan de realisatie van dergelijke schermen problemen opleveren. Bij het uitvoeren van smalwanden van bentoniet-cement in veen of zeer slappe kleien dient er op te worden gelet dat de continuïteit van de wand verzekerd is.

## 2.3. Vertikale schermen aangebracht door het behandelen van de grond in-situ

Door de grond in-situ te behandelen kan de doorlatendheid ervan verkleind worden.

Bij injecties worden de in de grond aanwezige poriën opgevuld met cement, bentoniet of chemische produkten. Deze worden onder druk ingebracht. Doordat het aanwendige poriënwater daarbij moet verdrongen worden kan injectie alleen worden toegepast in gronden welke een voldoende doorlatendheid bezitten. Het uitvoeren van dergelijke injecties is in het algemeen

omslachtig en duur. De aanwending ervan beperkt zich tot speciale gevallen (bv. t.p.v. leidingen ... fig.3) of tot herstellingen.

Bij grondvermenging wordt de aanwezige grond in-situ vermengd met cement, kalk of chemicalieën. De vermenging vindt plaats over een kolom met een zekere diameter. De samenstelling en de eigenschappen van de omringende grond worden daarbij nagenoeg niet gewijzigd. De vermenging kan mechanisch geschieden (deep mixing) of met behulp van een hoge drukstraal (VHP-grouting of jet-grouting).

Door het bevriezen van de grond wordt het in de poriën aanwezige water vast en wordt de doorlatendheid van de grond sterk verminderd. De bevriezingstechniek kan alleen worden toegepast voor tijdelijke ingrepen. Er dient dan wel vooraf te worden nagegaan dat het vriespunt van het poriënwater niet al te zeer is verlaagd door de aanwezige verontreiniging of door andere stoffen (bv. zout).

### 3. Literatuurstudie

In de uitgevoerde literatuurstudie [1] werd voor de indeling van de verschillende uitvoeringstechnieken een ander criterium gehanteerd, namelijk de inzetbaarheid van de techniek. Aldus worden de volgende groepen van uitvoeringstechnieken onderscheiden;

- universele uitvoeringstechnieken; dit zijn technieken welke zeer regelmatig worden toegepast vooral dan in de funderingstechniek. Volgende technieken worden behandeld :

- gewapend beton diepwand
- stalen damwand
- vrieswand

- specifieke technieken; dit zijn speciale technieken welke reeds werden toegepast voor het beperken van de invloed van een grondwaterverlaging of voor het isoleren van verontreinigingen. Als dusdanig werden deze technieken nog niet allemaal in ons land toegepast. Voor de uitvoering ervan kan evenwel gebruik gemaakt worden van beschikbaar materieel en kan er worden gesteund op de ervaring welke met analoge technieken werd opgedaan. Volgende technieken worden behandeld:

- bentoniet-grond wand
- cement bentoniet diepwand
- plastisch beton/mortel diepwand
- waterglas-grond diepwand
- verticale waterdichte folie
- composietscherm = cement-bentoniet + geomembraan
- composietscherm = .... + stalen damwand

- diafragma van cement-bentoniet en/of van andere grout
  - injectie (= permeation-grouting)
  - jet-grouting (= VHP-grouting)
- toekomstgericht; dit zijn technieken welke reeds in het buitenland werden toegepast of werden ontwikkeld, maar waarvoor speciale apparatuur of kennis nodig is. Daardoor kunnen deze technieken hier niet onmiddellijk worden toegepast. Voldoende technieken worden besproken:
- deep-mixing
  - glasplaat in brij
  - bio-scherm
  - actieve afscherming.

Voor elk van de besproken technieken worden in de mate van het mogelijke de volgende punten behandeld:

- grondstoffen en eind-configuratie van het scherm
- uitvoeringsmethode en kwaliteitscontrole van de uitvoering
- eisen aan de materialen en geschiktheidsonderzoek
- kwaliteitscontrole van de materialen tijdens de uitvoering
- controle en reparatie van het scherm
- economisch perspectief
- voor welke gronden/grondwaters/concepten is de techniek geschikt
- varianten.

In de literatuurstudie zijn ook een aantal bijlagen opgenomen welke informatie verstrekken i.v.m.:

- instrumenten welke kunnen gebruikt worden bij het controleren van de functionaliteit van schermen
- proeven op wandmaterialen
- gebezigde technische termen
- richtwaarden voor concentraties in de bodem
- geraadpleegde literatuur.

#### 4. Richtlijnen bij het gebruik van verticale schermen bij de isolatie van verontreinigde sites

De opgestelde richtlijnen omvatten een algemene inleiding en probleemstelling, richtlijnen voor een aantal schermtypes en een overzicht van de verschillende schermeigenschappen. Per schermtype bevatten de richtlijnen:

- een voorstelling van het schermtype
- een beoordelingsrichtlijn
- een keuringsrichtlijn
- een acceptatierichtlijn
- een bespreking van de toepasbaarheid.

In de richtlijn wordt ervan uitgegaan dat het isolerend vermogen van een vertikaal scherm moet voldoen aan de volgende eisen:

- bij een isolatieconcept " in den droge" = gemiddelde hydraulische weerstand groter dan 35000 dagen
- bij een isolatieconcept " in de natte"
  - ° voor elk stukje schermmateriaal = hydraulische weerstand kleiner dan 4000 dagen of oneindige diffusieweerstand
  - ° gemiddelde hydraulische weerstand groter dan 1000 dagen.

Bij het opstellen van deze richtlijn werden nogal wat problemen ondervonden omdat er voor heel wat materialen welke bij de uitvoering van de verticale wanden verwerkt worden geen normen of algemeen aanvaarde criteria bestaan. Verder beschikt men voor een aantal technieken alleen over ervaringsgegevens met betrekking tot bepaalde grondsoorten en is het niet zonder meer mogelijk om deze ervaringsgegevens te veralgemenen.

Verder is het duidelijk dat er bij de uitvoering van een vertikaal scherm vooral aandacht moet besteed worden aan de controle van de uitvoering zelf. Het beproeven van een scherm in zijn geheel kan alleen maar kwalitatieve informatie opleveren in verband met de functionaliteit van de isolatievoorziening. Het is nagenoeg onmogelijk om uit de resultaten van pompproeven kwantitatieve gegevens af te leiden betreffende de hydraulische weerstand van een scherm. Dit heeft vooral te maken met het feit dat er altijd een onzekerheid zal bestaan betreffende de aansluiting van het scherm in de afsluitende laag en betreffende de onderloopsheid van het scherm doorheen de afsluitende laag (fig.4).

Er werd reeds heel wat informatie samengebracht i.v.m. de eisen welke aan de verschillende schermtypes moeten gesteld worden. Op basis van de thans beschikbare informatie en ervaring is het evenwel nog niet mogelijk om voor alle beschouwde schermtypes volledige richtlijnen op te stellen met betrekking tot verschillende grondsoorten. Daarvoor zal het nodig zijn om nog verder informatie in te winnen, bv. door bijkomende literatuurstudie, laboratoriumproeven of proeven in-situ.

## 5. Duurzaamheid

### 5.1. Algemeen

In de meeste gevallen zullen verticale wanden welke worden geplaatst voor het isoleren van verontreinigde sites en stortplaatsen hun afdichtende kwaliteiten gedurende meerdere tientallen jaren moeten bewaren. Het is daarom belangrijk dat

er bij het ontwerp van een vertikaal scherm rekening wordt gehouden met het gedrag van het scherm op lange termijn, met de uit te voeren controlemetingen tijdens de volledige isolatieduur en met mogelijkheid om reparaties uit te voeren.

Om te kunnen nagaan hoe het gedrag van een scherm evolueert wordt er een schermweerstand gedefinieerd, als het geheel van eigenschappen dat belangrijk is voor de ogenblikkelijke functionaliteit. De eigenschappen welke de schermweerstand bepalen zijn voor de verschillende isolatieconcepten weergegeven in de onderstaande tabel

	ISOLATIECONCEPT	SCHERMWEERSTAND
1	" in den droge"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- de effectieve hydraulische weerstand (die het convectief uitwaarts pollutentransport bepaalt)</li> <li>- de effectieve diffusieweerstand tegen diffusie in waterverzadigd schermmateriaal (die het diffusief uitwaarts pollutentransport bepaalt)</li> </ul>
2	" in de natte" met actieve hydraulische afscherming	<ul style="list-style-type: none"> <li>- de effectieve hystaulische weerstand (die het oppompdebiet bepaalt)</li> <li>- van elk schermelementje: de verhouding van de diffusieweerstand tegen diffusie in waterverzadigd schermmateriaal tot de hydraulische weerstand.</li> </ul>
3	actieve ventilatie van gassen (bv. op een stortplaats)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- de effectieve gasweerstand tegen convectief gastransport van het schermmateriaal met een minimaal watergehalte (die de luchtaanzuiging bepaalt)</li> <li>- van elk schermelementje: de verhouding van de diffusieweerstand tegen diffusie in de gasfase tot de gasweerstand van het schermmateriaal met een minimaal watergehalte.</li> </ul>



## 5.2. Voorspelling van het lange-termijngedrag en de duurzaamheid

Ten einde het lange termijngedrag en de duurzaamheid van een vertikaal scherm reeds in de ontwerpfase zo goed mogelijk te kunnen voorspellen is het aangewezen om een wiskundig model op te stellen. Daarbij wordt de variatie van de schermweerstand weergegeven in functie van de tijd en rekening houdend met:

- de relevante schermmateriaalparameters
- de eigenschappen van de voegen
- de relevante belastingsparameters
- de combinatie parameters welke bv. de invloed van de chemische aantasting van het schermmateriaal weergegeven .

Het opstellen van een dergelijk wiskundig model is pas zinvol wanneer het model kan gecalibreerd worden door het uitvoeren van laboratoriumproeven van lange duur en door waarnemingen op bestaande verticale schermen. Dergelijke waarnemingen kunnen bestaan in het uitvoeren van niet destructieve proeven op verticale schermen of door het ontnemen van monsters uit proefpanelen.

Voor het opstellen van een wiskundig model dat de evolutie van de hydraulische weerstand van een schermelement met de tijd of de mechanische belasting van een vertikaal scherm met de tijd weergeeft kan er worden gesteund op bestaande theorieën. Het is evenwel nodig om deze telkens aan de lokale omstandigheden aan te passen en om in de mate van het mogelijke systematisch de geldigheid ervan te controleren.

Bij het toepassen van de aldus opgestelde modellen moet er terdege rekening worden gehouden met het isolatieconcept.

Zo moet er voor het isolatieconcept " in de natte" met actieve hydraulische afscherming worden nagegaan in welke mate het opgepompte debiet normaal gezien zal moeten worden aangepast en wat er kan gebeuren wanneer het opgepompte debiet niet wordt aangepast.

## 5.3. Controlemetingen van het lange termijngedrag van een vertikaal-scherm

Met deze metingen wordt er beoogd om:

- de schermweerstand van het vertikaal scherm te bepalen
- eventuele defekten, of plaatsn met een verminderde schermweerstand op te sporen
- het wiskundig model voor het lange termijngedrag bij te sturen.

Voor het bepalen van de schermweerstand moet de effectieve waterdoorlatendheid van het volledig verticale scherm bepaald worden. Dit kan gebeuren door het uitvoeren van een pompproef binnen de door het scherm gevormde omheining. Dit is evenwel alleen maar zinvol voor zover men de invloed van het debiet doorheen de afsluitlaag (die de site langs de onderzijde afsluit) kan becijferen.

De lokale doorlatendheid van het schermmateriaal kan worden bepaald door het uitvoeren van infiltratietesten in boorgaten welke in het schermmateriaal zijn uitgevoerd (alleen mogelijk wanneer het scherm een voldoende dikte heeft) of door het uitvoeren van pompproeven binnen een speciaal daartoe aangebrachte testcel of testcellen (fig.5).

Door het meten van de waterkwaliteit buiten de site, door tracertesten of door middel van geofysische proeven kan alleen een idee verkregen worden betreffende eventuele discontinuïteiten of anomalieën in het scherm. Er mag worden aangenomen dat het door het uitvoeren van dergelijke proeven niet mogelijk zal zijn om kwantitatieve informatie te verkrijgen betreffende de scherm-weerstand.

Informatie betreffende de verandering van de eigenschappen van het schermmateriaal kan eveneens worden verkregen door het uitvoeren van laboratoriumproeven op monsters welke langdurig ondergedompeld werden in het grondwater of in het percolaatwater. Dergelijke monsters kunnen bijvoorbeeld ontnomen worden uit speciaal daartoe aangebrachte panelen of uit wanden van de testcellen.

Wanneer stalen damwanden worden aangewend is het aangewezen om regelmatig de dikte ervan te controleren ten einde te kunnen voorspellen wanneer de stalen damwand zal begeven door corrosie.

#### 5.4. Reparatie of vervanging van een verticale scherm

De mogelijkheid om reparaties uit te voeren kan een heel belangrijk element vormen bij de keuze van een schermtipe.

Mogelijke reparatietechnieken zijn:

- het uitvoeren van gerichte injecties in of naast het scherm (fig.6)
- het ontdebellen van het scherm.

Bij een isolatieconcept " in de natte" met actieve hydraulische afscherming bestaat een reparatietechniek erin om het op te pompen debiet te verhogen.

## 6. Besluit

In het kader van de studie welke door het Laboratorium Reyntjens van de KU Leuven werd uitgevoerd in opdracht van OVAM werd zeer veel beschikbare informatie samengebracht betreffende de isolatie van stortplaatsen en verontreinigde sites door middel van verticale wanden. Op basis daarvan werden richtlijnen geformuleerd i.v.m. de uitvoering en de controle van verticale schermen. Voor het opstellen van deze richtlijnen werd gesteund op de ruime beschikbare ervaring i.v.m. de uitvoering van verticale wanden voor bouwkundige toepassingen, de beperkte ervaring i.v.m. de uitvoering en controle van schermen welke voor de isolatie van verontreinigingen worden aangebracht en de beschikbare resultaten van laboratoriumproeven.

Voor heel wat technieken is de beschikbare ervaring zeer summier. Dit houdt dus in dat er zeer belangrijke extrapolaties zullen moeten gemaakt worden om het gedrag van aldus uitgevoerde wanden op lange termijn te voorspellen. Het zou wellicht zinvol zijn om met het oog op de isolatie van gekende verontreinigde sites een onderzoek op ware grootte op te starten bestaande uit het realiseren van een aantal testcellen volgens verschillende technieken en het opvolgen van de kenmerken van de verwerkte materialen en van de gerealiseerde schermen.

Een fundamenteel probleem blijft de moeilijke bepaling van de effectieve waterdoorlatendheid van een gerealiseerde wand. Zolang er geen betrouwbare technieken ontwikkeld zijn om eventuele heterogeniteiten in een wand of discontinuïteiten in de aansluiting op de onderliggende weinig doorlatende laag op te sporen, moet er vooral aandacht worden besteed aan de controles tijdens de uitvoering.

## Referenties

[1] Maertens J, Van Gemert D, en Verwaest T, Vertikale schermen voor isolatie van stortplaatsen en verontreinigde sites, Literatuurstudie. In opdracht van OVAM.

[2] Maertens J, Van Gemert D, en Verwaest T, Richtlijnen bij het gebruik van verticale schermen bij de isolatie van stortplaatsen en verontreinigde sites. In opdracht van OVAM.



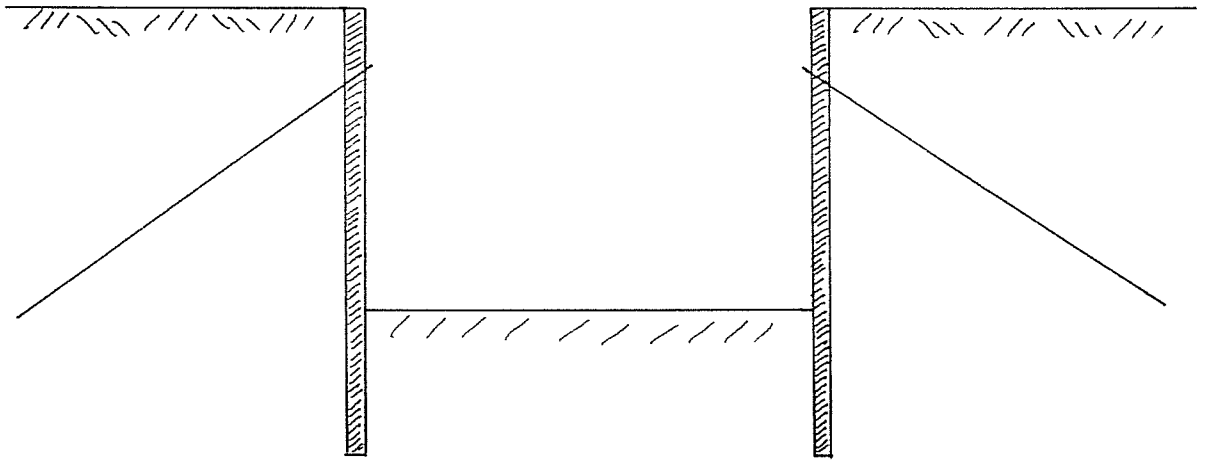


fig 1a

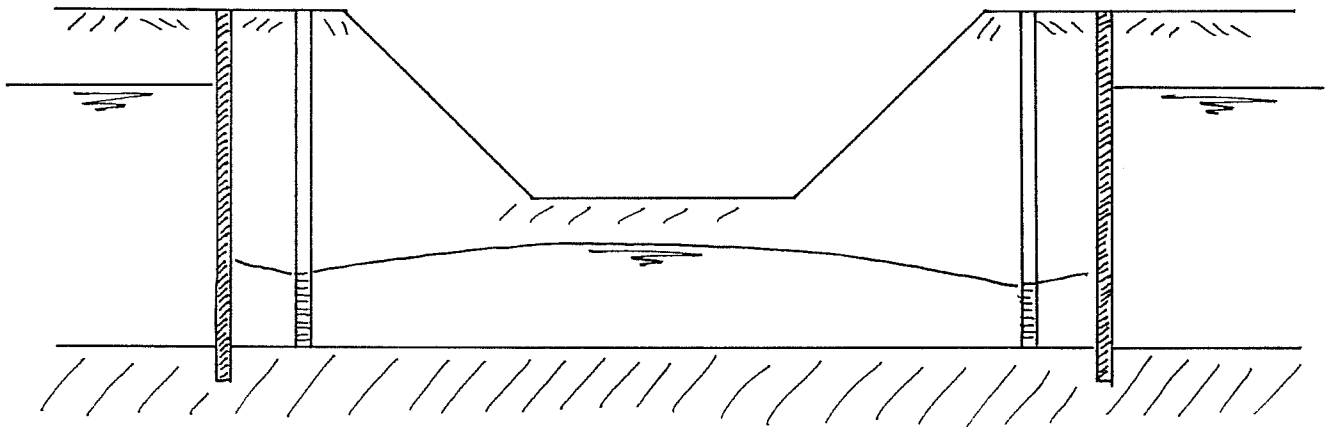


fig 1b

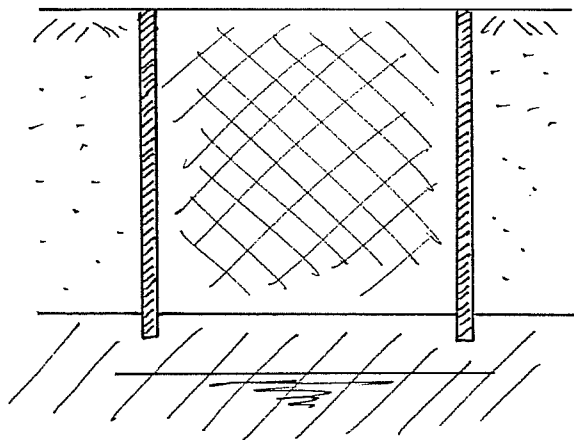


fig 2a

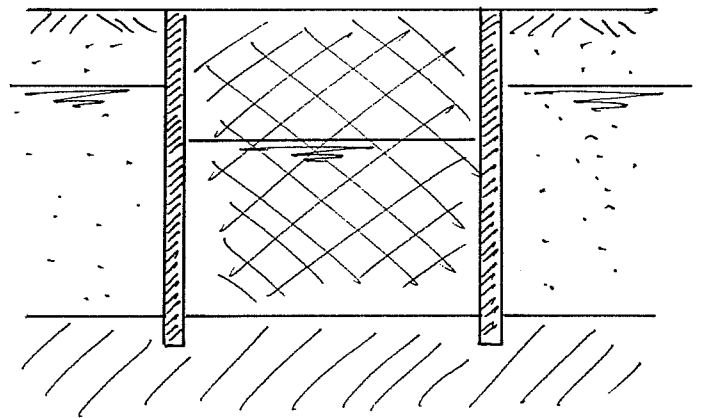


fig 2b

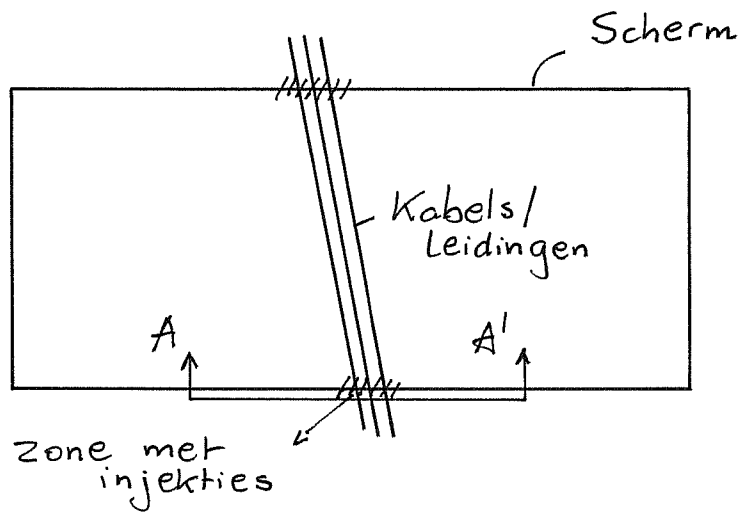


fig. 3a

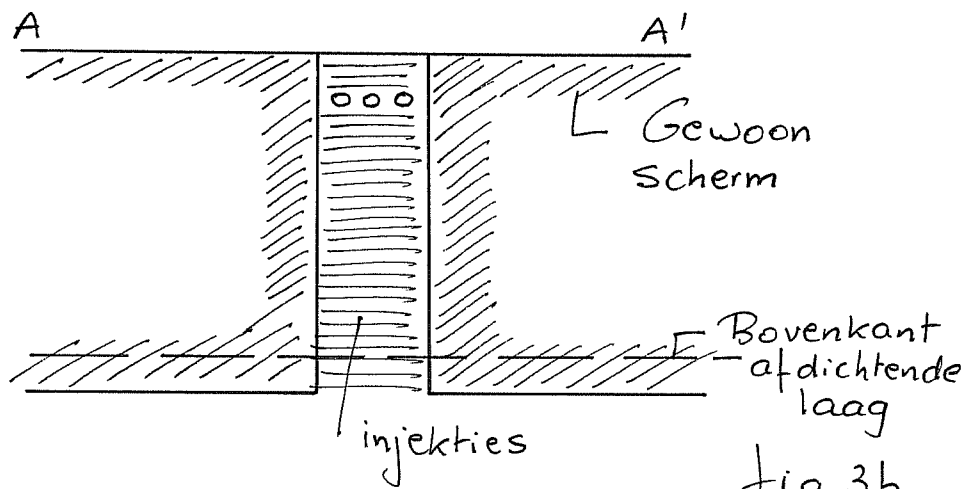


fig. 3b.

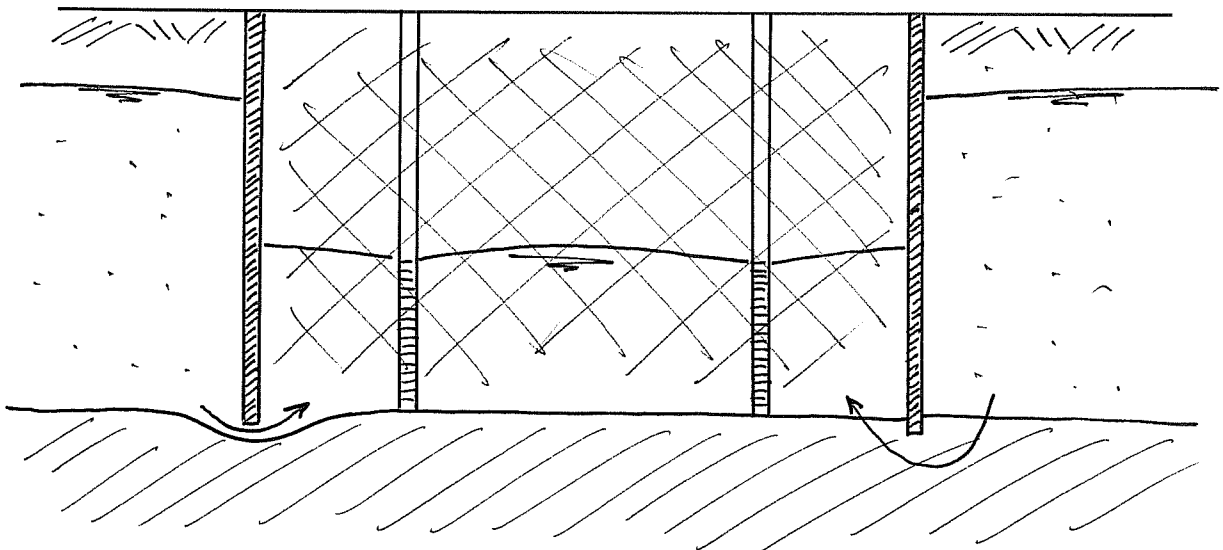


fig. 4

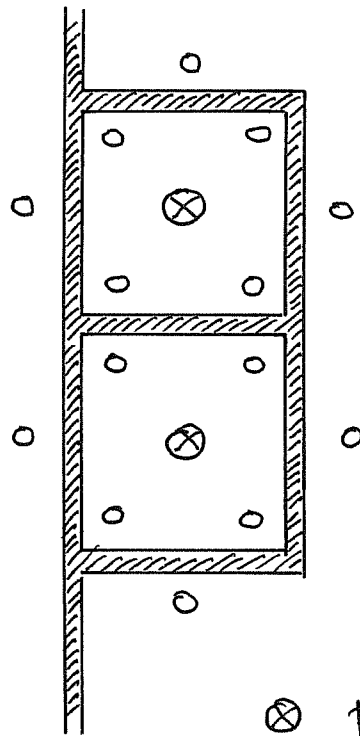
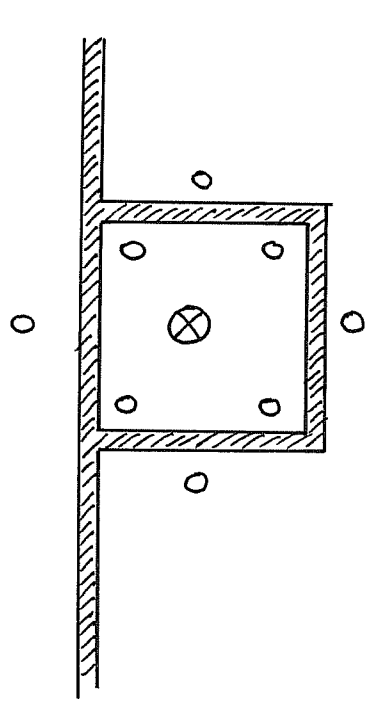


fig. 5

⊗ pompput  
 ○ peilfilter

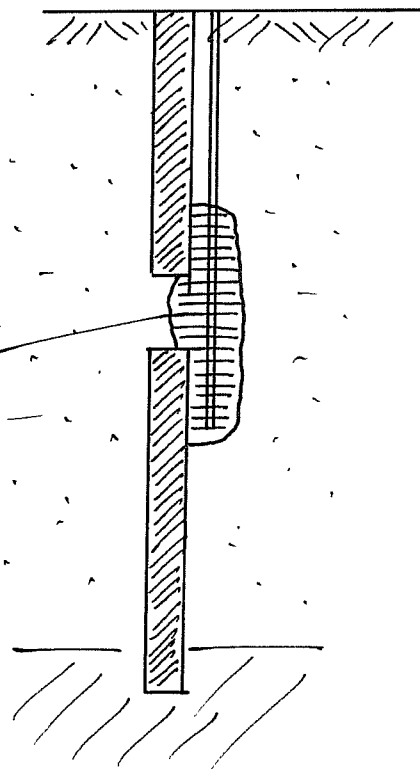
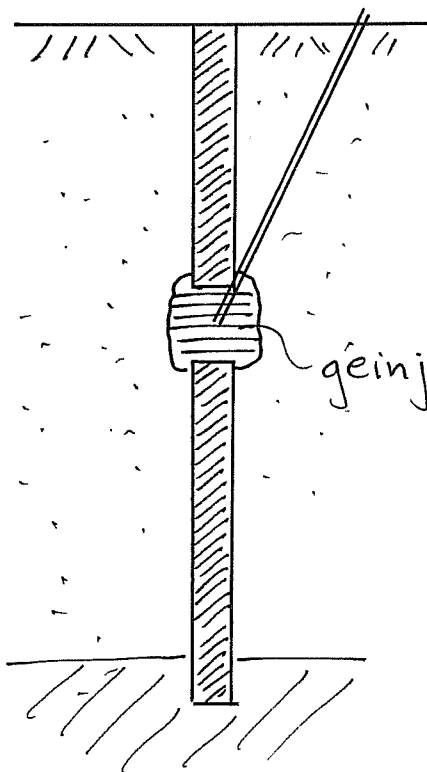


fig. 6

Injekties

fig. 3b.

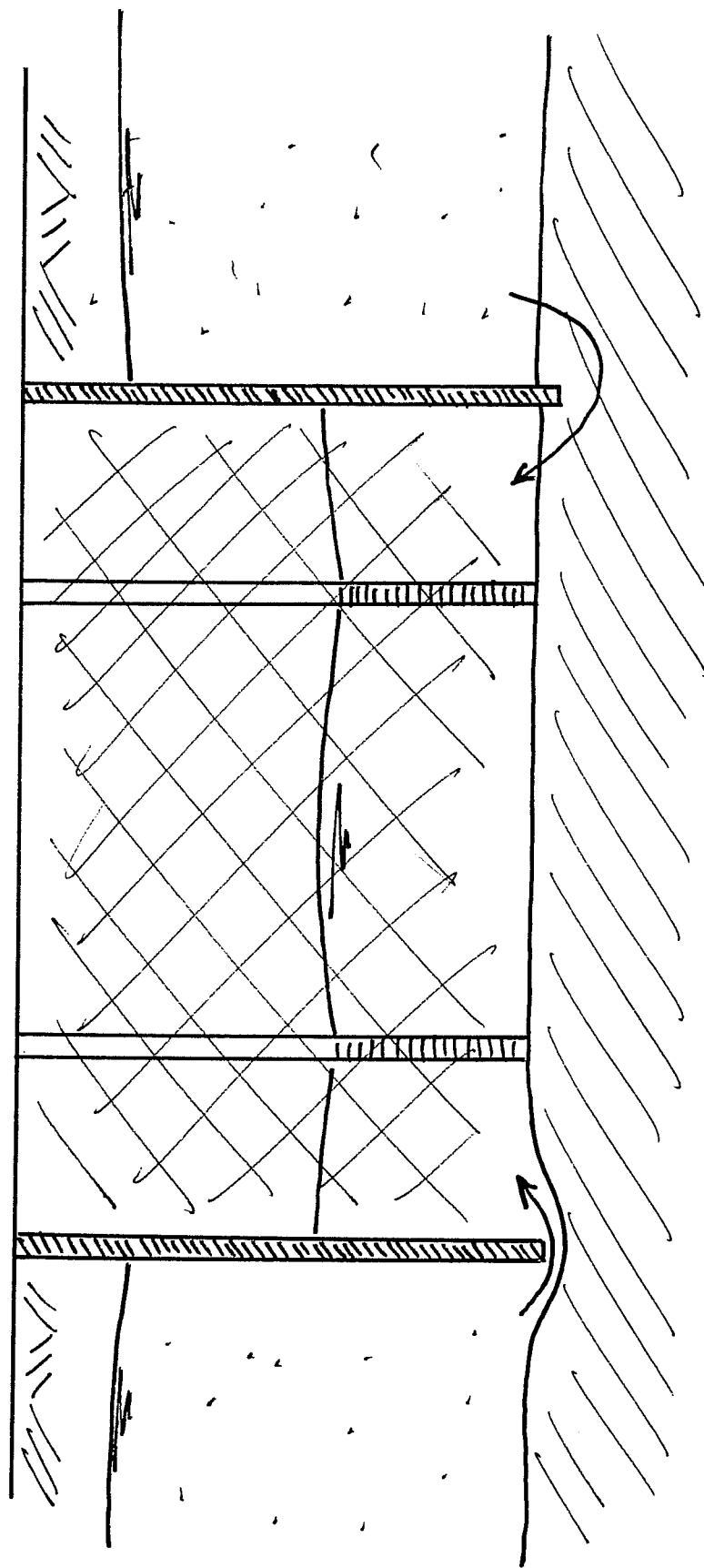


fig. 4