

In-situ elektroreclamatie, saneren onder spanning

In het Zuid-Hollandse Nieuwpoort wordt op het ogenblik een met chloorkoolwaterstoffen verontreinigde bodem in-situ gesaneerd met electroreclamatie in combinatie met vacuümextractie. Het is de eerste keer dat deze techniek gebruikt wordt voor de verwijdering van dergelijke verbindingen uit de bodem. Om de techniek te beproeven vond in 1997 een proefsanering plaats. In dit artikel wordt de techniek geëvalueerd. De proefsanering was dermate succesvol (er is 14 kilo puur product verwijderd) dat besloten is een volledige sanering in te zetten.

Jeroen de Bode en Aldert van der Kooij

Ter plaatse van het historische Arsenaal in Nieuwpoort is de bodem verontreinigd met vluchtige organische chloorverbindingen (VOCl). Op de locatie worden plaatselijk per (tetra-chlooretheen) en tri (tri-chlooretheen) en de afbraakproducten dichlooretheen en vinylchloride in gehalten ver boven de interventiewaarden aangetroffen. De bodem bestaat uit een geroerde zand- met puinlaag van ongeveer 3 meter dikte, met daaronder klei en veen met lemige zandlagen tot ongeveer 14 meter beneden het maaiveld. Hieronder bevindt zich het eerste watervoerende pakket.

De verontreiniging is in 1983 bij een verkennend onderzoek van de Provincie Zuid-Holland aan het licht gekomen. In de jaren tot 1997 heeft DHV Milieu en Infrastructuur verschillende onderzoeken verricht. Dit resulteerde in een saneringsplan (ontgraven in combinatie met 'pump and

treat'). Door de aanwezigheid van open water, bebouwing en klei- en veenlagen zou dit niet leiden tot volledige oplossing van het probleem.

Oktober 1996 heeft A. Hak Milieutechniek bv/Geokinetics laten weten mogelijk een in-situ alternatief te hebben voor de verwijdering van de vluchtige organische chloorverbindingen. Met de methode wordt hinder beperkt en bebouwing (waaronder monumentale panden) gespaard. In goed overleg is besloten een proefsanering uit te voeren. De proefsanering is uitgevoerd door A. Hak Milieutechniek BV/Geokinetics. De provincie Zuid-Holland is opdrachtgever, met DHV Milieu en Infrastructuur BV als adviseur.

Techniek

Het alternatief betrof een in-situ techniek: elektroreclamatie met wis-

selstroom waardoor de bodem wordt opgewarmd.

Door een elektrisch spanningsverschil op de bodem aan te brengen gaat er een stroom lopen. De weerstand van de bodem zorgt voor warmteontwikkeling. De bodem is tijdens de proefsanering op deze manier opgewarmd tot ongeveer 60°C. Voor de opstelling van de elektroden is een zeshoek gekozen (Afbeelding 1). De afstand tussen de elektroden is afhankelijk van de bodemsamenstelling. In het midden van de zeshoek is een onttrekkingsfilter geïnstalleerd om het grondwater met hoge concentratie VOCl te verwijderen.

De verwijdering van metalen uit de bodem met behulp van gelijkstroom is een bewezen techniek.¹ Bij deze proef is voor de eerste keer elektroreclamatie met wisselstroom ingezet om vluchtige organische chloorverbindingen efficiënter uit de bodem te verwijderen. Het voordeel van wisselstroom is dat er geen nettotransport van geladen deeltjes optreedt. Bovendien ontstaat er geen zuur milieu aan de kathode, waardoor corrosie van de elektrode wordt voorkomen. De proefsanering is uitgevoerd op een sterk verontreinigde deellocatie. De oppervlakte is ongeveer 30 m² en de saneringsdiepte 7 tot 12 m-mv. Mede door uitstraling van warmte, is ca. 225 m³ bodem behandeld.

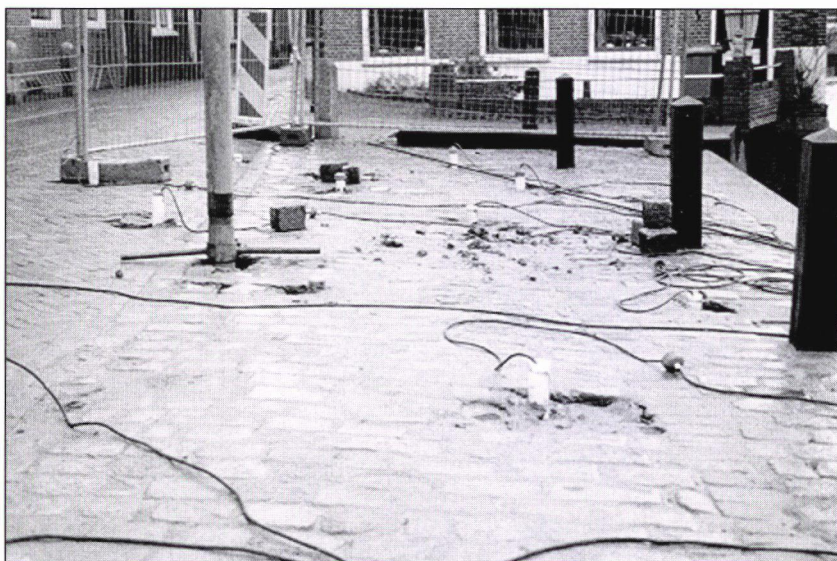
Over de auteurs



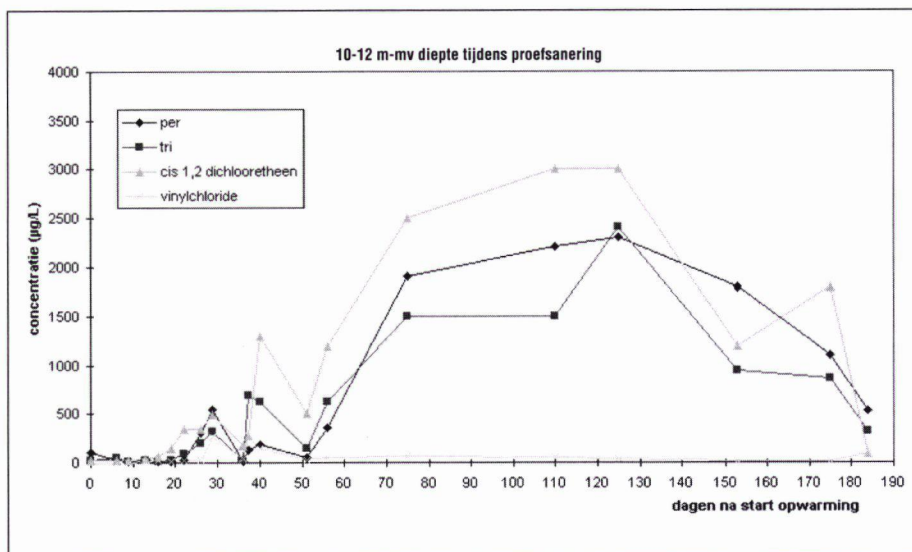
Ing. J. de Bode
is als milieutechnoloog werkzaam op de afdeling technologie bij DHV Milieu en Infrastructuur in Amersfoort



Ing. L.A. van der Kooij
is werkzaam als hoofd van de afdeling technologie van DHV Milieu en Infrastructuur in Amersfoort



Afbeelding 1: Het aangelegde proefsaneringssysteem



Figuur 1: concentratie verloop op 10-12 m-mv diepte tijdens proefsanering.

Invloed van bodemopwarming

VOCl kan in vier verschillende fasen in de bodem voorkomen: als damp in de onverzadigde zone, opgelost in het grondwater, geabsorbeerd aan de vaste fase in de bodem en als puur product in de verzadigde en onverzadigde zone van de bodem.²

De verdeling van VOCl over de verschillende fasen is afhankelijk van de temperatuur, de stoffeïenschappen (oplosbaarheid, dampdruk etc.) en de eigenschappen van de bodem (poriërvolume, vochtgehalte en organisch stofgehalte). De fasen zijn met elkaar in evenwicht. Door de bodemopwarming gaan de evenwichten verschuiven. Deze verschuiving zorgt voor een belangrijke mobiliteitstoename van de VOCl. Een bijkomend effect is de daling van de viscositeit van vloeistoffen onder invloed van opwarming. Het resultaat hiervan is dat de weinig

doorlaatbare veen- en kleilagen toch beter doorlaatbaar voor VOCl en grondwater worden waardoor efficiënte onttrekking mogelijk wordt.

Biologische omzettingen

Indien per volledig afbreekt onder anaërobe omstandigheden blijft er etheen over. De dechlorering loopt langs de volgende weg: per wordt omgezet naar tri, vervolgens naar dichlooretheen, vinylchloride en uiteindelijk naar etheen.

Het is belangrijk deze afbraak te monitoren, zodat de afbraak gestuurd kan worden. Vinylchloride is de meest toxische component. Als de afbraak daar stagneert kunnen de risico's toenemen. Door de bodemopwarming kan de biologische afbraak ook toenemen, indien er geen andere limiterende factoren zijn. De temperatuur in de bodem is gemiddeld 10°C. Bij

4°C vindt er bijna geen biologische activiteit meer plaats. Het is bekend dat biologische reacties bij een hogere temperatuur sneller verlopen. Het optimum onder laboratoriumcondities ligt tussen de 20°C en 42°C.³

Uitvoering

De proefsanering is gedurende 200 dagen in bedrijf geweest. Daarbij is ongeveer 400 kWh/m³ energie aan de bodem toegevoegd. De temperatuur in de bodem schommelde rond de 60°C, afhankelijk van de afstand tot de elektroden. Na 20 dagen opwarming is gestart met het onttrekken van grondwater.

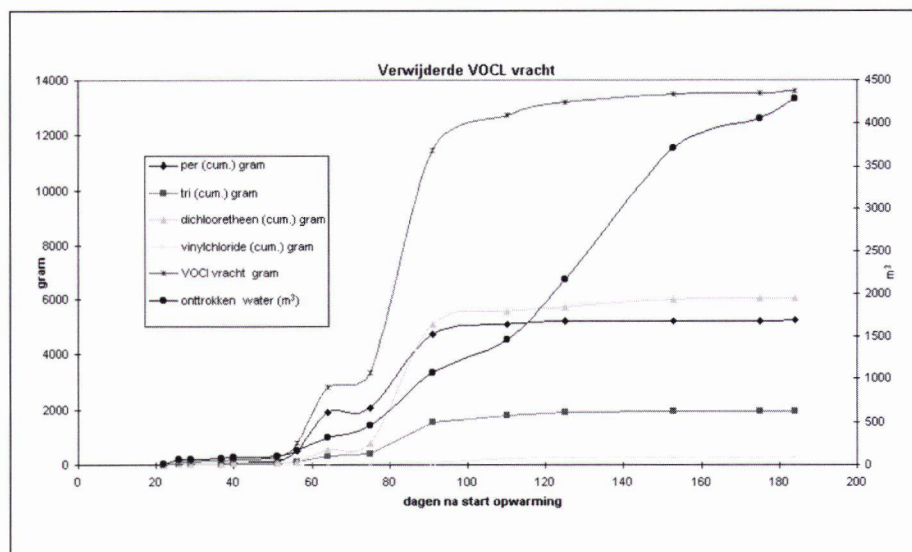
Er is geprobeerd met een constant laag debiet te onttrekken. Door een aantal technische problemen is dit niet gelukt. Het eerste probleem was het uitlokken van het in het grondwater aanwezige ijzer. Dit is opgelost door het zandfilter aan te passen met een automatisch terugspoelsysteem. Een ander probleem werd veroorzaakt door gasvorming (kooldioxide, etheen, methaan en in mindere mate per, tri, dichlooretheen en vinylchloride) in de filters. Hierdoor wordt de weerstand van het filter groter. Dit probleem is opgelost door het aanbrengen van automatische ontluchters die de vrijkomende gassen doorlaten naar een actiefkoolfilter. Ten slotte heeft het pompmateriaal (met name de slangen) geleden onder hoge concentraties VOCl (vooral per en tri) in combinatie met opwarming. De duurzaamheid van de materialen was aanmerkelijk geringer dan door de fabrikant opgegeven.

Resultaten

De concentratie VOCl in het grondwater nam aan het begin van de sanering toe. De verontreiniging werd mobieler. Na verloop van de tijd nam de concentratie echter weer af.

In figuur 1 zien we dit terug. Op een diepte van 7 tot 12 m-mv vond bodemopwarming en de grondwateronttrekking plaats. De belangrijkste component is hier dichlooretheen. Dit is ontstaan door biologische afbraak; de oorspronkelijke verontreiniging bestaat uit de ontvettingsmiddelen per en tri. Het omslagpunt ligt hier in de buurt van dag 120. Vanaf die dag nam de concentratie VOCl af.

In figuur 2 is de verwijderde vracht uitgezet tegen de tijd. Tussen dag 50 en dag 90 is de grootste VOCl-vracht



Figuur 2: Verwijderde VOCl vracht

Tabel 1: Begin- en eindconcentraties VOCl

Stof	terugsaneer-waarde	interventie-waarde	begin	eind	begin	eind
			haard 6-8 m-mv	haard 6-8 m-mv	rand 7-8 m-mv	rand 7-8 m-mv
per µg/L	10	40	31.500	1.600	5.500	<d.l.
tri µg/L	125	500	19.000	5.900	3.400	<d.l.
dichl. µg/L	5	20	24.500	1.200	5.800	250
vinylcl. µg/L	1,25	5	1.700	1.200	6.445	<d.l.
<d.l. = concentratie kleiner dan detectie limiet						

verwijderd. Daarna is nog weinig VOCl verwijderd. Het onttrekkings-debiet was toen laag.

In totaal is een vracht van ongeveer 14 kg pure verontreiniging aan de bodem onttrokken. In verhouding is veel dichlooretheen verwijderd.

In tabel 1 zijn de begin- en eindconcentraties gegeven. Tijdens de sanering is de concentratie VOCl in de haard van de verontreiniging sterk gedaald. In de rand van de verontreiniging zijn de concentraties sterk afgenomen, maar nog behoorlijk hoog. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een verontreinigingskern in de buurt.

Kosten

De kosten van in-situ-elektroreclamatie in combinatie met vacuümextractie zijn afhankelijk van het energieverbruik. Het energieverbruik is met name afhankelijk van locatiespecifieke omstandigheden als bodemopbouw, grondwaterstromingssnelheid en aanwezige stroomvoorziening. Tijdens de proefsanering is 90.000 kWh in de bodem gebracht. Afhankelijk van de omvang van de verontreiniging en de locatiespecifieke omstandigheden (bodemopbouw) moet rekening gehouden worden met een bedrag van tussen de f 160,- en f 300,- per te behandelen m³ bodem.

Evaluatie

Elektroreclamatie kost energie. De energieverliezen, en dus de kosten, kunnen beperkt worden door het pompdebiet nauwkeurig te regelen en het warme gereinigde grondwater in de bodem te infiltreren. Per kubieke meter water die 1°C warmer is dan het grondwater in de bodem, wordt 1,2 kWh in de bodem teruggebracht. Een ander belangrijk punt is dat er niet met groot debiet onttrokken moet worden. Tijdens de proefsanering is het grondwater in behandeld gebied 57 maal ververst. Door alleen water

met hoge concentraties VOCl te onttrekken, kan met een klein debiet een grote vracht verwijderd worden.

Door een VOCl-verontreiniging gefaseerd te saneren kan er op kosten bespaard worden. In de eerste fase worden de verontreinigingskernen verwijderd met elektroreclamatie. De tweede fase bestaat uit de biologische behandeling van de randgebieden. De biologische afbraak kan gestimuleerd worden door opwarming en nutriëntentoevoer. De derde fase is de monitoring van de biologische afbraak van de laatste verontreiniging. Met name vinylchloride moet dan gemonitord worden in verband met de toxiciteit en mobiliteit. Door monitoring kunnen de momenten van het ingaan van een volgende fase bepaald worden.

Het materiaal moet bestand zijn tegen de invloeden van warm water, per en tri. De zuivering zal uitgerust moeten worden met een zandfilter (dichtslaan filters voorkomen) en ontluchtingspunten (gasvorming).

Uit de proefsanering is gebleken dat VOCl uit een heterogene bodem onttrokken kan worden met behulp van elektroreclamatie. De resultaten van de proefsanering rechtvaardigen een inmiddels ingezette volledige sanering op deze locatie.

Een belangrijk punt is dat er weinig bekend is over de invloed van opwarming van de bodem op het zettingsgedrag van klei- en veenlagen. Er is aan de bebouwing geen aantoonbare zetting gemeten tijdens en na de proefsanering.

Conclusie

Door bodemopwarming te combineren met een grondwateronttrekkingssysteem is het mogelijk VOCl uit de bodem te verwijderen. Met de proefsanering is de streefwaarde niet gehaald. De concentratie VOCl in de bodem overschrijdt in bijna alle gevallen

nog de interventiewaarde. Ondanks dit resultaat is de proef zeker niet mislukt. In 184 dagen is een vracht VOCl van ongeveer 14 kg aan de bodem onttrokken. De verwijdering in deze periode was met 'pump and treat' technieken niet mogelijk geweest.

Door de evaluatie van de proefsanering zijn de beperkende factoren zichtbaar geworden. De beperkende factoren hebben een negatief effect op het saneringsresultaat, de saneringsduur en de kosten. Verdere optimalisatie van de uitvoering zal er, naar ons oordeel, toe bijdragen dat elektroreclamatie kosteneffectief ingezet kan worden als in-situtechniek voor het verwijderen van VOCl.

Literatuur

1. Everwijn, T.S., en anderen, 1992 Bodemreinigingstechnieken. Boom, Meppel. p. 58
2. Commandeur, C.M. en anderen, 1994 Voorwaarden voor microbiële afbraak van (gehalogeneerde) koolwaterstoffen in de bodem. TCB, Den Haag
3. Cherry, J.A., Pankow, J.F. 1996 Dense chlorinated solvents, and other DNAPL's in groundwater. Waterloo press. Portland, Oregon

De volgende personen worden voor hun medewerking bedankt:

J.L. Veldhoven
Provincie Zuid-Holland

M.W. Wilschut
A. Hak Milieutechniek BV/Geokinetics

L.C. de Zeeuw
A. Hak Milieutechniek BV/Geokinetics