



Using hydrogeobiocells (HGBcells) for the in-situ biological treatment of CAH contaminated groundwater in areas with low hydraulic gradients

Het gebruik van hydrogeobiocellen (HGB) voor de in-situ biologische behandeling van grondwater verontreinigd met gechloreerde koolwaterstoffen in gebieden met een lage grondwatersnelheid



Project content

Many companies in Europe are faced with soil and groundwater contamination as a result of a less sustainable industrial past. Active clean-ups are very expensive, especially if the area that needs to be decontaminated is large and the contamination is persistent.

Chlorinated aliphatic hydrocarbons (CAHs) are the most difficult and expensive group to remediate since they are heavier than water and can easily migrate to large depths. Because they are very soluble in water and slowly degraded, they also form large groundwater plumes that are very difficult to remediate.

Because of this, traditional remediation techniques are often inadequate, time-consuming and expensive.

Anaerobic dechlorination by soil micro-organisms is a promising remediation approach for CAH contamination. This can be done by stimulating existing bacteria through addition of a carbon source (biostimulation) or the addition of the required bacteria (inoculum) and a carbon source (bioaugmentation). In order to be successful however, sufficient groundwater velocities are required. This is a problem in many sites that have low groundwater velocities.

Groundwater flow velocities can be increased by pumping the groundwater but this requires extensive treatment of the contaminated groundwater. The technique of hydrogeobiocells (HGBcells), increases the groundwater flow velocity by a specific pumping and injection scheme and does not require aboveground treatment of the contaminated groundwater. Bioremediation takes place in-situ. This technique can be a cost-efficient and environmental advantageous solution for all sites that suffer from low groundwater flow velocities.

Projectbeschrijving

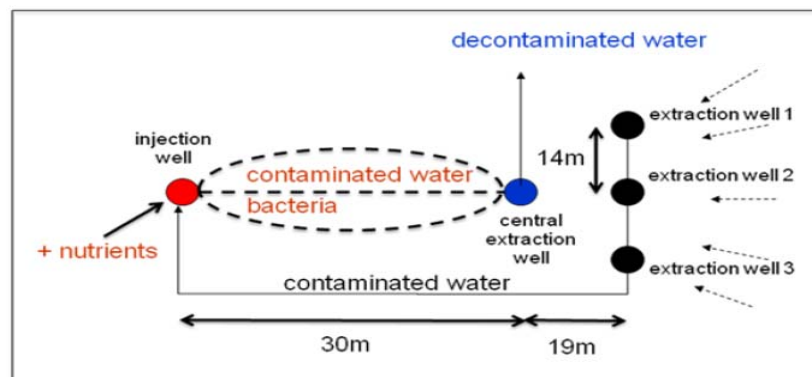
Veel bedrijven in Europa worden geconfronteerd met bodem en grondwaterverontreiniging als gevolg van een minder duurzaam industrieel verleden. Actieve sanering is zeer duur, vooral bij grote te saneren oppervlaktes en persistente verontreinigingen.

Gechlororeerde alifatische koolwaterstoffen (CKWs) zijn de moeilijkste en duurste verbindingen om te saneren. Deze verbindingen zijn immers zwaarder dan water waardoor zij makkelijk migreren naar grote dieptes. Omwille van hun oplosbaarheid in water en trage afbraak vormen zij ook grote grondwaterpluimen die moeilijk te saneren zijn.

Traditionele saneringstechnieken zijn vaak ontoereikend, hebben een lange saneringsduurtijd en zijn onbetaalbaar.

Anaerobe dechlorinatie door bodemorganismen is een veelbelovende saneringstechniek voor CKW verontreiniging. Dit kan worden uitgevoerd door het stimuleren van aanwezig bacteriën door het toevoegen van een koolstofbron (biostimulatie) of door de toevoeging van zowel vereiste bacteriën (ent) als een koolstofbron (bioaugmentatie). Om een succesvol resultaat te hebben is echter een voldoende hoge grondwatersnelheid nodig voor verspreiding van bacteriën en koolstofbron. Dit is een probleem op veel sites met een lage grondwatersnelheid.

De grondwatersnelheid kan verhoogd worden door het oppompen van grondwater. Dit vereist echter een intensieve behandeling van het verontreinigde grondwater. De techniek van hydrogeobiocellen (HGB-cellen) daarentegen verhoogt de grondwater snelheid door een bepaald pomp en injectie regime en vereist geen bovengrondse behandeling van verontreinigd grondwater. Bioremediatie van het grondwater gebeurt in-situ. Deze techniek kan een cost-efficiënte oplossing zijn met een bijkomende milieuvoordeel voor sites met een lage grondwatersnelheid.



Horizontal section of HGBcell

Demonstration site

The demonstration site is located in Flanders, Belgium. The project is carried out on the former LVM-site (currently VYNOVA). This is a chemical site, where since 1972, monovinylchloride (MVC), a raw material used for the production of polyvinylchloride (PVC) is produced. The soil and groundwater are contaminated with chlorinated aliphatic hydrocarbons (CAHs). The main contaminant is 1,2-dichloroethane (12DCA), an intermediate of the industrial production of monovinylchloride.

The groundwater contamination is caused by the production activities at the site and has spread to a depth of 80m below ground level. The main sources of contamination are the process sewer, the tank farm and the waste water basin. In the project area the groundwater flow velocities are very low. This makes remediation through traditional techniques difficult and expensive.



Project objectives

This project focusses on the use of hydrogeobiocells (HGBcells) for the in-situ biological treatment of CAH contaminated groundwater in areas with low hydraulic gradients. The main objectives are the following:

1. Demonstrate the applicability of HGBcells using biostimulation and bioaugmentation for the remediation of a CAH groundwater contamination in areas where groundwater velocity is very low
2. Demonstrate the successful upscaling of the production of the dechlorinating microbial culture to be used in the HGBcell for bioaugmentation
3. Demonstrate the cost efficiency and energy efficiency of the remediation technique (HGBcell using biostimulation and HGBcell using bioaugmentation) for the remediation of CAH contaminated groundwater with an emphasis on 12DCA
4. Demonstrate the applicability of the groundwater model that was developed.
5. Dissemination of knowledge to stakeholders and the European Commission

Demonstratie site

De demonstratiesite is gelegen in Vlaanderen, België. Het project wordt uitgevoerd op de voormalige LVM site (huidig VYNOVA). Dit is een chemisch bedrijf waar sinds 1972 monovinylchloride (MVC) wordt geproduceerd. Dit is een grondstof die gebruikt wordt voor de productie van polyvinylchloride (PVC). De bodem en het grondwater is verontreinigd met gechloreerde alifatische koolwaterstoffen (CKWs). De belangrijkste verontreiniging is 1,2-dichloorethaan (12DCA), een tussenproduct in de industriële productie van monovinylchloride.

De grondwaterverontreiniging is veroorzaakt door de productieactiviteiten op de site en heeft zich verspreid tot een diepte van 80m onder het maaiveld. De belangrijkste bronnen van verontreiniging zijn de procesriool, het tankenpark en het afvalwaterbekken.

In het projectgebied zijn er zeer lage grondwatersnelheden. Hierdoor is sanering met traditionele technieken technisch moeilijk en weinig kostenefficient.

Project objectieven

Dit project legt zich toe op het gebruik van hydrogeobiocellen voor de in-situ biologische behandeling van CKW verontreinigd grondwater in gebieden met lage grondwatersnelheid.

De belangrijkste objectieven zijn de volgende:

1. Aantonen van de toepasbaarheid van HGBcellen bij het gebruik van biostimulatie en bioaugmentatie voor de sanering van grondwaterverontreiniging met CKW in gebieden waar de grondwaterstroming laag is.
2. Aantonen dat een dechlorinerende microbiele cultuur succesvol kan worden opgekweekt op industriële schaal en kan gebruikt worden in de HGB-cel voor bioaugmentatie
3. De kosten- en energie-efficiëntie aantonen van de saneringstechniek. Specifiek voor de sanering van 12DCA verontreiniging
4. De toepasbaarheid van het grondwatermodel aantonen
5. Kennisverspreiding aan de belanghebbenden en de Europese Commissie

Project results

1a) Biostimulation was successfully proven in a test zone in the plume of the contamination. The installation was further engineered to enable more reliable operation of the HGBcell. Adaptions included 2 injection wells in stead of one, inline filtration of the extracted water, a specialized injection head to keep the injection pressure constant and an additional pipeline to remove wash water to the water treatment of the production facility.

First tests indicated that injection of nutrolase as carbon source was not possible in the aquifer of the test zone. Sodium lactate and a mixture of sodium lactate and lactic acid however could be successfully injected.

Tests indicated a very good biodegradation resulting in pollutant concentrations below detection limits. However as a side effect, FeS (iron sulphide) precipitation occurred, resulting in an irreversible clogging of the injection wells.

After redrilling the injection wells, the installation was modified by installing back wash pumps in the injection filters. This way, the precipitation of FeS in the injection wells could be managed by preventively back flushing the wells.

The final tests proved biodegradation during a reliable operation of the cell. FeS precipitation could be managed by periodically changing the filter bags and backflushing the injection wells. An important point of attention is not to “overdose” the carbon source as this will promote FeS formation. This was also one of the conclusions of the groundwater model. The main challenge for a full scale remediation will be to determine an optimal carbon dosage in order to maintain sufficient degradation but also manage FeS formation and prevent operational issues and clogging of the filters.



HGBcell for biostimulation

1b) A small scale bioaugmentation test was performed in a source zone at the factory site with high concentrations of 12DCA. This test zone had higher concentrations (350-400 mg/l) than initially planned to test the technique as an alternative for source remediation.

Project resultaten

1a) Biostimulatie werd succesvol aangetoond in een testzone in de pluim van de verontreiniging. De installatie werd aangepast om een meer betrouwbare werking van de HGB-cel te garanderen. Hiervoor werden volgende aanpassingen uitgevoerd: installatie van 2 injectieputten in plaats van 1, inline filtratie van het onttrokken grondwater, een aangepast injectiestuk om de injectiedruk constant te houden en een bijkomende leiding om spoelwater af te leiden naar de afvalwaterzuivingsinstallatie van de productiesite.

De eerste testen hebben aangetoond dat de injectie van nutrolase als koolstofbron niet mogelijk was in de grondwaterlaag van de site. Natriumlactaat en een mengsel van natriumlactaat en melkzuur kon wel succesvol worden geïnjecteerd.

De testen tonen een zeer goede biodegradatie aan waarbij concentraties aan verontreiniging tot onder de detectielimieten konden worden gehaald. Er werd echter FeS (ijzersulfide) neerslag vastgesteld als neveneffect van de biostimulatieproeven. Dit heeft geleid tot een irreversibele verstopping van de injectieputten.

Na het opnieuw boren van de injectieputten werd de installatie aangepast door terugspoelpompen in te bouwen in de injectiefilters. Op deze manier kon FeS neerslag in de injectieputten worden beheerst door het preventief terugspoelen van de filters.

De laatste testen toonden een goede biodegradatie aan in combinatie met een betrouwbare werking van de cel. FeS neerslag kon worden beheerst door het periodiek wisselen van de filterzakken en preventief terugspoelen van de injectiefilters. Even belangrijk is het vermijden van “overdosering” van de koolstofbron omdat dit de FeS vorming bevordert. Dit werd eveneens geconcludeerd uit het grondwatermodel.

De belangrijkste uitdaging bij een full-scale sanering zal het bepalen zijn van de optimale koolstofbron dosering om voldoende biodegradatie te verkrijgen zonder dat FeS neerslag de werking van de installatie in gedrang brengt en de injectiefilters doet verstoppem.

1b) Een kleinschalige bioaugmentatie test werd uitgevoerd in een bronzone op de productiesite met hoge concentraties aan 12DCA. Deze testzone had hogere concentraties (350-400 mg/l) dan initieel vooropgesteld om de techniek te testen als alternatief voor een conventionele bronsanering.

The HGB test for bioaugmentation demonstrated the biodegradation of 12DCA in the groundwater and the formation of the harmless ethene in high concentration source zones. Initial 12DCA concentration levels decreased with approximately 50% from 350-400 mg/l to approximately 150 mg/l. The highest biodegradation rate could be noticed after the injection of 260 L of inoculum. Later inoculum events with lower volumes did not result in a significant increase in degradation rate. Concentrations of 12DCA seemed to stagnate between 100 and 150 mg/l. Furthermore, no significant biodegradation of chlorinated ethenes, present in relatively low concentrations, could be observed.

Additional testing will be done after the LVM-Biocells project to confirm further decrease below 150 mg/l for 12DCA in source zones and to validate that also chlorinated ethenes can be biodegraded in source zones. Several potential hypotheses should be looked at such as carbon-source limitation, groundwater acidification, contamination desorption from soil and toxic side contaminants.

Vertical and horizontal upscaling of the HGBcells have not been executed as foreseen. Vertical upscaling is not necessary based on the groundwater modelling results that indicate more vertical influence than expected. Horizontal upscaling has not been performed within the project because of the above mentioned operational issues that were resolved in the final stages of the project.

2) The production of the dechlorinating microbial culture could be successfully upgraded to industrial scale using a 630 l reactor in Tessenderlo. Activity tests indicated good dechlorination activity of the culture that can be maintained for several months. Additional tests in a later stage indicated conservation of the activity of the culture for several years when stored at 5-6 °C.



630 l bioreactor

De HGB test voor bioaugmentatie toonde biodegradatie van 12DCA in grondwater aan tot het onschadelijke etheen. Initiële 12DCA concentraties verminderden hierbij met ca. 50% van ca. 350-400 mg/l tot ca. 150 mg/l. De meeste biodegradatie werd vastgesteld na injectie van 260 l bacteriële ent. Bij latere enting met lagere volumes werd geen significant effect van de enting op de biodegradatiesnelheid vastgesteld.

De concentraties 12DCA lijken te stagneren tussen 100 en 150 mg/l. Daarnaast kon geen significante afbraak van gechloreerde ethenen, aanwezig in relatief lage concentraties, worden vastgesteld.

Bijkomende testen na afloop van het LVM-Biocells project moeten uitwijzen of de afbraak verder optreedt onder 150 mg/l voor 12DCA en of afbraak van gechloreerde ethenen mogelijk is in bronzones. Verschillende hypothesen zoals koolstofbronlimitatie, grondwaterverzuuring, desorptie van verontreiniging en toxische nevenverontreinigingen zullen hiervoor worden onderzocht.

Verticale en horizontale opschaling van de HGB-cellen werd niet uitgevoerd zoals initieel voorzien. Verticale opschaling wordt niet noodzakelijk geacht op basis van de resultaten van het grondwatermodel die aantonen dat de verticale invloed van de HGB-cel groter is dan verwacht. Horizontale opschaling werd niet uitgevoerd omwille van de bovenvermelde operationele problemen met FeS neerslag. Deze problemen werden afdoend opgelost in de laatste testen van het project.

2) De productie van de dechlorinerende microbiele cultuur kon succesvol worden opgeschaald door gebruik te maken van een 630 l reactor in Tessenderlo. De activiteitstesten tonen een goed dechlorinatie activiteit aan die daarenboven verscheidene maanden kan worden aangehouden. Bijkomende testen hebben hierna zelfs behoud van de activiteit van de ent aangetoond wanneer deze gedurende verschillende jaren bewaard werd bij 5-6°C.



Inoculum ready for injection

The growth of dechlorinating bacteria with groundwater contaminated with CAH could be demonstrated based on tests with lab-scale bioreactors. Based on the tests, a decision could be made which carrier material is best used in the bioreactors. Additionally the growth parameters such as hydraulic residence time, carbon source dosage and nutrient dosage could be determined. Additional filter tests indicated that dechlorinating bacteria are not retained when filtering the effluent. Filtering of the effluent is considered to be necessary to limit the amount of FeS issues that can also be expected to take place in a bioreactor fed with groundwater.

3) The economical evaluation indicates that on site growth of a microbial culture in groundwater is considered to be up to 6 times more cost efficient than off site growth in an artificial medium. On site growth is therefore recommended from an economical point of view when volumes of inoculum of more than 500 l are required. Economical evaluation of the remedial technique with HGBcells indicates a cost efficiency of approximately 4 times compared to a conventional infiltration technique. Mainly installation costs of the conventional technique are much higher. It has to be mentioned that evaluation is highly case specific and that comparison is not always relevant. Not only costs should be considered but also remedial targets and feasibility should be taken into account.

4) The hydraulic parameters of the aquifer could be determined through interpretation of the pump test. The evolution of the groundwater quality, microbial growth and iron sulphide precipitation was simulated through adaptation of the computer model. Simulations demonstrated that the permeability decreases distinctively in the close vicinity of the injection wells. Calculations indicate a decrease of 27 to 54% within a radius of 10m around the injection wells. The recommendation is to reduce the carbon source content of the injected water in order to reduce the growth of bacteria and diminish FeS deposition in the immediate vicinity of the injection wells.

De groei van dechlorinerende bacteriën met verontreinigd grondwater van de site kon succesvol worden aangetoond in labreactoren. Op basis van deze test kon een optimaal dragermateriaal worden geselecteerd om in de bioreactoren te gebruiken. Bijkomend zijn de procesparameters zoals hydraulische residentietijd, koolstofbrondosering en nutriëntendosering bepaald. Bijkomende filtertesten hebben aangetoond dat dechlorerende bacteriën niet worden weerhouden bij het filtreren van het effluent van de bioreactor. Dit filtreren wordt noodzakelijk geacht om FeS afzetting te beperken aangezien er ook wordt verwacht dat dit zal optreden in bioreactoren die gevoed worden met grondwater.

3) De economische evaluatie geeft aan dat on-site opkweek van bacteriële ent met grondwater 6 keer kostenefficiënter is dan off-site opkweek in een artificieel medium. On-site opkweek wordt daarom aangeraden vanuit economisch standpunt wanneer er entvolumes van meer dan 500 l nodig zijn.

De economische evaluatie van de saneringstechniek met de HGB-cel geeft aan dat een sanering met HGB-cellen tot 4 keer kostenefficiënter is dan vergeleken met een conventionele infiltratie techniek. Hierbij zijn voornamelijk de installatiekosten van de conventionele techniek hoger. Verder moet vermeld worden dat vergelijking niet altijd relevant en sterk site-afhankelijk is. Niet enkel kosten moeten worden beschouwd maar ook de saneringsdoelen en technische haalbaarheid moeten in rekening worden gebracht.

4) De hydraulische parameters van de grondwaterlaag werden bepaald door de interpretatie van de pomptest. De evolutie van de grondwaterkwaliteit, microbiële groei en ijzersulfide neerslag werden gesimuleerd door het aangepast computermodel. De simulaties toonden aan dat de doorlatendheid sterk verminderde in de onmiddellijke nabijheid van de injectieputten. Berekeningen geven een vermindering van 27-54% van de doorlatendheid aan in een straal van 10m rond de injectieput. Er wordt aanbevolen om de koolstofbrondosering te verminderen om hiermee ook de bacteriegroei en FeS neerslag in de onmiddellijke omgeving van de injectieputten te beperken.

Further modelling indicated that the loss in permeability in the vicinity of the well was mainly caused in the immediate vicinity of the injection well (filter, gravel package) and less in the area around the well. The ratio is calculated at 81% / 19%.

5) Dissemination

Knowledge was disseminated by the website (<http://www.lvm-biocells.be>). Presentations were given in several national and international congresses and workshops for a specialised audience. Stakeholders were regularly informed via newsletters and progress reports for the authorities.

Verdere modellering gaf aan dat de verlaagde doorlatendheid in de omgeving van de injectieputten voornamelijk kort rondom de put optrad (filter, grind pakket) en minder in de ruimere omgeving rond de put. Deze verhouding werd berekend op 81% / 19%.

5) Kennisverspreiding

Kennisverspreiding vond plaats via de website (<http://www.lvm-biocells.be>). Presentaties werden gegeven op verschillende nationale en internationale congressen en workshops voor een gespecialiseerd publiek. Belanghebbenden werden op regelmatige basis geïnformeerd via nieuwsbrieven en voortgangsrapporten voor de overheden.

Project partners

