Code van goede goede praktijk 7

Gestimuleerde natuurlijke afbraak van de verzadigde zone via biologiche afbraak door toevoeging van O_2 en nutriënten

Leefmilieu Brussel

Inhoud

Inleiding 4
Beschrijving van de techniek en de basisprincipes van de implementatie 5
2.1 Algemene beschrijving 5
2.2 Combinatie van gestimuleerde biologische afbraak met andere technieken 6
2.3 De toevoer van zuurstof (en andere elekton acceptoren) 7
2.3.1 Toevoer door traag werkende zuurstof afgevende verbindingen 7
2.3.2 Toevoeging door rechtstreekse injectie van zuurstof in het grondwater 7
2.3.3 Toevoeging door inbreng van waterstofperoxide in opgeloste vorm 8
2.3.4 Toevoeging van zuurstof door injectie van lucht in het grondwater (biosparging) 8
2.3.5 Toevoer van andere elektron acceptoren 9
2.4 Toevoer van nutriënten 10
2.5 Correctie van de fysico-chemische en fysische eigenschappen van de bodem 11
2.6 Bio-augmentatie 11
Beschrijving van de varianten 13
3.1 Grondwateronttrekking met of zonder recirculatie 13
3.2 Gestimuleerde natuurlijke afbraak door toevoer tensioactieve agentia 13
3.3 Natuurlijke afbraak door opwarming van de bodem met behulp van stoominjectie 14
3.4 Injectie van colloïden met adsorberende eigenschappen voor versnelde biologische afbraak 14
Nagestreefde doelen: pluim versus kern 15
Verontreinigingen en meest gunstige omstandigheden (kwalitatief) 16
5.1 Verontreinigingen waarvan verwacht wordt dat ze door gestimuleerde natuurlijke afbraak kunnen gesaneerd worden 16
5.2 Meest geschikte omstandigheden 19
Onderzoek van de technische haalbaarheid 21
6.1 Aanvaardingscriteria 21
6.2 Vooronderzoek : haalbaarheidsstudie 21
Specifiek haalbaarheidsonderzoek 27
7.1 Eerste stap van het haalbaarheidsonderzoek 27
7.2 Tweede stap van het onderzoek 27
7.3 Derde stap van het haalbaarheidsondezoek 28
7.4 Noodzaak voor een pilootproef 30
Beschrijving van een standaardinstallatie 36
8.1 Passieve of actieve infiltratie 36
8.2 Infiltratie (actief of passief) met grondwateronttrekking en eventueel herinfiltratie 36
8.3 Directe injectie onder druk van trage zuurstof afgevende stoffen 37
8.4 Het toevoegen van trage zuurstof afgevende stoffen via injectieputten 37
8.5 Biosparging 37
8.6 Gestimuleerde natuurlijke afbraak door opwarming van de bodem (door injectie van stoom) 38
8.7 Conceptueel schema 39
Beschrijving van een installatietype 40
Bijzondere veiligheidsmaatregelen en beperking van hinder : geur, lawaai, stof… 42
10.1 Aandachtspunten 42
10.2 Risico's gelinkt aan de gevaarlijke aard of toxiciteit van de gebruikte additieven 42
10.3 Hinder voor de luchtkwaliteit : in geval van behandeling door biosparging bij aanwezigheid van vluchtige verontreinigende stoffen 43
10.4 Explosiegevaar 43
10.5. Toegenomen risico voor verspreiding van de verontreinigende stoffen 43
10.6. Geluidshinder 44

10.7. Risico's voor naburige grondwaterwinningen 44
10.8. Conformiteit met bestaande wettelijke kaders 44
Opvolgingsmaatregelen 46
11.1 Basisregels voor de opvolgingsmaatregelen 46
11.2. Opvolgingsmaatregelen : standaardopstelling 46
11.2.1 Algemeen 46
11.2.2. Stimulatie door injectie (actief of passief) van additieven in de grondwatertafel 49
11.2.3. Passieve of actieve infiltratie met grondwateronttrekking + eventuele recirculatie 49
11.2.4. Rechtstreekse injectie 50
11.2.5. Toevoegen van trage zuurstof afgevende stoffen (injectieputten) 50
11.2.6. Injectie van lucht in de verzadigde zone (biosparging) + extractie van gas in de onverzadigde zone 50
11.2.7. Variante opwarming van de bodem door injectie van stoom 51
Opvolgingsmaatregelen : op te volgen parameters en frequentie van opvolging 52
Rapportering, optimalisatie en corrigerende maatregelen 57
Rapportering 57
12.2 Correctieve maatregelen en optimalisatie 60
Validatie methode en beslisschema voor stopzetting- voortzetting van de maatregel 61
Mogelijke opvolgmaatregelen op lange termijn (lange termijn validatie) : maatregel en soorten metingen 63
Aanbevelingen met betrekking tot veiligheid en stabiliteit 65
15.1 Beknopte checklist voor de aannemers 65
15.2 Beknopte checklist voor de bodemverontreinigingsdeskundigen 68
16. Bibliografie 72

1. Inleiding

De behandelingstechniek die wordt beschreven draagt de naam « Gestimuleerde natuurlijke afbraak van de verzadigde zone via biologische afbraak door toevoeging van O2 en nutriënten ».

De techniek heeft hoofdzakelijk als doel om een verontreiniging aan te pakken in de verzadigde zone van de bodem door de biologische afbraak in aerobe condities te stimuleren. Het in stand brengen van optimale of gunstige condities voor biodegradatie wordt uitgevoerd aan de hand van de toevoer van zuurstof, of andere andere elektron acceptoren, nutriënten en indien nodig van micro organismen die in staat zijn de verontreinigende stoffen af te breken. In ideale omstandigheden wordt de afbraak in stand gehouden (gestimuleerd) totdat afbraakproducten gevormd worden die onschadelijk zijn en van nature aanwezig zijn in de bodem.

In het geval dat er in belangrijke mate puur product aanwezig is, m.n. drijflaag (LNALP) of zinklaag (DNALP), of puur product dat vast zit in de poriën van de bodem, dient de verwijdering van deze fase plaats te vinden vooraleer het in stand brengen van een systeem van gestimuleerde afbraak in de bodem. Indien dit niet gebeurt zou de duurtijd om de doelstellingen te bereiken overdreven lang zijn, waardoor de technische en financiële haalbaarheid van de techniek maar middelmatig tot slecht zouden kunnen zijn.

Deze techniek van opvolging is gebaseerd op het goed begrijpen en een goede kwantitatieve evaluatie van de natuurlijke processen en mechanismen op de verontreinigde site. Ze moet er tevens op gericht zijn om het bewijs te kunnen leveren dat de natuurlijke afbraak processen in voldoende mate aanwezig zijn om blootstelling van de verontreiniging voor mens en leefmilieu uit te kunnen sluiten.

Opmerking

De ordonnantie van 5 maart 2009 met betrekking tot het beheer en de sanering van verontreinigde bodems en diens uitvoeringsbesluiten geven in verschillende artikels aan dat de codes van goede praktijk dienen nageleefd te worden. Wat de codes van goede praktijk met betrekking tot de sanering en het risicobeheer betreft, kan de erkende bodemverontreinigingsdeskundige in bepaalde gevallen mits een degelijk gefundeerde argumentatie, zoals bvb. op basis van een voorstel van de bodemsaneringsaannemer, afwijken van de bepalingen van de codes van goede praktijk. In dat geval behoudt Leefmilieu Brussel zich op elk moment het recht voor om bijkomende informatie of om bijkomend terreinwerk te vragen op basis van de bepalingen van de codes van goede praktijk, indien het noodzakelijk en pertinent wordt geacht.

We willen verduidelijken dat de code van goede praktijk van toepassing is voor alle werken die een behandeling door sanering of door risicobeheer omvatten, voor werken uitgevoerd in het kader van de minieme behandeling, voor werken van beperkte duur, follow-upmaatregelen en noodmaatregelen.

2. Beschrijving van de techniek en de basisprincipes van de implementatie

2.1 Algemene beschrijving

De natuurlijk processen, die opgevolgd worden tijdens de bewaakte natuurlijke afbraak, kunnen op verschillende manieren resulteren in een vermindering van de risico's die veroorzaakt worden door de aanwezigheid van de verontreiniging(en) in de bodem (in vaste fase, vloeibare fase of gasfase) :

Deze techniek heeft als doel een verontreinigingsvlek te behandelen in het verzadigde deel van de bodem door gestimuleerde biologische afbraak van de verontreinigende stoffen in aerobe condities. De stimulatie van de biologische processen die verantwoordelijk zijn voor de afbraak wordt uitgevoerd door gedurende de hele behandelingstermijn optimale condities te creëren en te behouden om de micro-organismen te activeren.

Het doel is dus om de aanwezige vuilvracht in een verontreinigingsvlek in de verzadigde zone te doen dalen en in het beste geval zelfs volledig te laten verdwijnen. De behandelde verontreiniging kan geadsorbeerd zijn aan de vaste fase, onder de vorm van puur product in de poriën van de bodem, als opgeloste vorm in het grondwater of als vrije fase aan de oppervlakte de grondwatertafel (LNALP). In het ideale geval zijn de chemische afbraakproducten van de verontreiniging CO_2, SO_4^{--}, Cl^-, H_2O (CH_4 en CO_2 in anaerobe condities), … Dit zijn producten die onschadelijk zijn en van nature voorkomen in de bodem. Echter, indien de afbraak niet tot op het einde heeft kunnen plaatsvinden (bijvoorbeeld door een tekort aan zuurstof), kunnen zich intermediaire producten vormen en kunnen deze een tijdlang in de bodem verblijven. In de meeste gevallen, zijn deze intermediaire producten minder schadelijke dan het bronproduct en worden zijn verondersteld sneller biologisch te kunnen afbreken.

De interventies die als doel hebben om de meest geschikte condities te creëren en te behouden om de micro-organismen te activeren bestaan uit :

- Toevoer van zuurstof in de verzadigde zone van de bodem en/of aanvoer van andere elektron acceptoren die de duurtijd van de activiteit van de micro organismen kan verlengen van zodra het zuurstof opgebruikt is ;
- Toevoer van de nutriënten die noodzakelijk zijn om voor het behoud/metabolisme van de micro organismen;
- Toevoer van de micro organismen (eventueel via ent of toevoer van een andere site) die nodig zijn voor een doeltreffende biologische afbraak, in het geval dat zou blijken dat de autochtone bacteriën onvoldoende zijn (bio-augmentatie);
- Toevoer of aanmaak van de juiste fysico-chemische condities : vb. een noodzakelijke pH correctie,….
- Een controle- en opvolgingsmaatregel van de behandeling die toelaat een opvolging te doen van de verdeling van de additieven in de bodem, de condities in de verschillende delen van de te behandelen zone op te volgen en de afbraak van de verontreinigende stoffen (evolutie) te kunnen opvolgen.
- Een controle- en opvolgingsmaatregel die toelaat om de risico's te evalueren : verspreiding van de additieven en van de verontreinigende stoffen (alsook van de intermediaire producten) richting potentieel bedreigde receptoren, risico op explosie of brand …..

- In het geval van toevoer van zuurstof door injectie van lucht in het grondwater (biosparging) : het installeren van een opvolgingssyteem van de samenstelling van de bodemlucht in de onverzadigde zone en indien nodig, het voorzien van een systeem voor het opvangen en behandelen van bodemlucht.

Andere interventies zijn soms noodzakelijk als **varianten** op de voornaamste voorgestelde techniek :

- Oppompen van grondwater en herinfiltratie van het behandelde grondwater ;
- Verhoging van de bio-beschikbaarheid van de verontreinigende stoffen door toevoeging van solventen of tensioactieve agentia ;
- Verwarming van de bodem door stoom (of door een ander proces) om de snelheid van de biologische processen te verhogen.
- Injectie van colloïdale agentia met adsorberende eigenschappen die de biologische afbraak versnellen.

In het algemeen, kan de biologische afbraak van organische verbindingen in de bodem beschreven worden via volgende reactie :

$$CH_{1.8} + \mathbf{a}\ O_2 + \mathbf{e}\ NH_3 \rightarrow \mathbf{b}\ CO_2 + \mathbf{c}\ CH_{1.8}O_{0.5}N_{0.2} + \mathbf{d}\ H_2O$$

$CH_{1.8}O_{0.5}N_{0.2}$ stelt de gemiddelde moleculaire verbinding van de biomassa voor.

Er wordt verondersteld dat om 1 kg polluent in de bodem te kunnen afbreken (van het type koolwaterstoffen) er 3 tot 3,5 kg O_2 nodig zijn.

De biologische afbraak vindt plaats in optimale omstandigheden als de nutriënten N en P volgens volgende ratio beschikbaar zijn in de bodem :

C : N : P gaande van 100 :10 :1 tot 100 :1 :0.5 afhankelijk van de af te breken verbindingen en de micro organismen die noodzakelijk zijn voor de biologische afbraak.

De afbraakmechanismen die gevolgd worden door de verschillende micro organismen (of verzameling van verschillende soorten micro-organismen) die verantwoordelijk zijn voor biologische afbraak van de verontreinigende stoffen in de bodem worden beschreven in de literatuur. De volgende databank kan geraadpleegd worden : (the University of Minnesota Biocatalysis/Biodegradation Database ; http://eawag-bbd.ethz.ch/)

2.2 Combinatie van gestimuleerde biologische afbraak met andere technieken

De biologische afbraak, zelfs als ze gestimuleerd is, is niet voldoende voor de aanpak van ernstige verontreiniging met hoge concentraties aan verontreinigende stoffen, die aangetroffen kunnen worden in de vorm van een vrij fase in de bodem. Hiervoor zijn verschillende redenen :

- De duurtijd van de behandeling is overdreven lang in vergelijking met alternatieve behandelingsmethoden ;
- Indien verontreinigende stoffen in heel hoge concentraties aanwezig zijn, zijn ze toxisch voor de micro organismen (bijvoorbeeld : lichte fracties koolwaterstoffen en BTEX) ;
- Zwakke graad van beschikbaarheid van de verontreinigende stoffen die in de vrij fase aanwezig zijn, voornamelijk wanneer deze vrij fase gevangen zit in de poriën van de bodem ;

Het is daarom dat gestimuleerde biologische afbraak vaak gebruikt wordt als techniek nadat andere, meer actieve technieken, werden gebruikt zoals ontgraving van de kern en ex-situ reiniging, het oppompen van vrij fase in de kern via pump and treat, ISCO, … Ze wordt in dat geval eerder gebruikt als en 'polishing step'.

Anderzijds, kan het wel zijn dat techniek in eerste instantie als de meest geschikte techniek wordt aangewend voordat andere, meer actieve technieken worden aangewend. Dit doet zich voornamelijk voor in gevallen dat een voortschrijdende pluim een receptor bedreigd.

2.3 De toevoer van zuurstof (en andere elekton acceptoren)

De toevoer van zuurstof in de verzadigde zone, kan op verschillende manieren plaatsvinden die ieder zowel voordelen als nadelen met zich meebrengen.

2.3.1 Toevoer door traag werkende zuurstof afgevende verbindingen

Het betreft verbindingen die in de bodem toegevoegd kunnen worden onder vorm van poeder, gel of grout (slurry).

Deze verbinden bevatten peroxiden (metaal peroxiden van Ca of Mg of waterstofperoxide) die beetje bij beetje tijdens het oplossen zuurstof vrijgeven.

Verschillende producten zijn beschikbaar. Zo zijn er bijvoorbeeld :

- waterstofperoxide ingesloten in een matrix van calciumfosfaat. In de vorm van een gel, is de vrijlating van zuurstof 10 tot 12.5 % (in gewicht). In poedervorm komt dit vrijlatingsvermogen ongeveer overeen met 17 %. De vrijlating van O_2 is ongeveer volledig na 6 maanden aanwezigheid in het grondwater.
- Substanties die zuurstof vrijgeven. Deze heeft een vrijlatingsvermogen van O_2 van ongeveer 17% in Ca vorm, terwijl de Mg vorm ongeveer 10 % van haar gewicht vrijlaat. De volledige vrijlaten vindt plaats na ongeveer 1 jaar aanwezigheid in de bodem.

Deze producten worden op verschillende manieren toegepast in de bodem :

- Via mechanische toevoeging in het verzadigde deel van de bodem, voor oppervlakkige verontreiniging ;
- Rechtstreekse injectie onder druk in de bodem van het gel over de grout met behulp van injectie apparatuur ;
- Actieve of passive injectie van een grout in vaste injectieputten met filter in het verzadigde deel van de bodem ;
- Het plaatsen van permeabele en verwijderbare zakken met poeder of gel in de vaste buizen.

Op basis van de concentraties aan verontreinigende stoffen die afgebroken moeten worden, van de stoichiometrie van de afbraak en de hoeveelheden aan O_2 die beschikbaar zijn in het grondwater, is het mogelijk om de behoefte aan de toeslagstoffen in de bodem te ramen. Deze hoeveelheden zijn belangrijk als men ervan uitgaat dat deze toevoer de enige bron van zuurstof vertegenwoordigd. Bijvoorbeeld, de afbraak van 1000 mg van koolwaterstoffen per kg bodem heeft 28 kg van product nodig rekening houdend met 10 % nodig voor een m^3 bodem.

2.3.2 Toevoeging door rechtstreekse injectie van zuurstof in het grondwater

Sommige systemen laten toe om zuurstof in gasvorm in te brengen zonder de vorming van bellen dank zij een systeem waarbij het toevoegen plaatsvind door een membraan met microporiën. Het

systeem dat ingesteld wordt in een injectieput laat toe om O_2 in het grondwater te injecteren onder opgeloste vorm met concentraties die kunnen gaan tot 70 mg/l. De injectiedruk is lichtje lager dan de inlaatdruk van het gas in de verzadigde zone. De conditie van oververzadiging van het grondwater is relatief stabiel met een half waarde tijd van verschillende dagen (tot 7) zodat het volume water dat beïnvloed wordt door de toevoer van zuurstof groot kan zijn (afhankelijk van de stromingssnelheid van het grondwater).

De afwezigheid van bellen is gunstig voor de biologische afbraak van verontreinigende stoffen in tegenstelling tot de vervluchtiging/extractie van lichte fracties van de verontreiniging bij andere gas injectie systemen.

2.3.3 Toevoeging door inbreng van waterstofperoxide in opgeloste vorm

De injectie van waterstofperoxide laat toe om snel grote hoeveelheden zuurstof in het grondwater in te brengen.

Voor details over deze techniek wordt verwezen naar de code van goed praktijk nummer 3 over ISCO.

Om de biologische afbraak van verontreinigende stoffen te stimuleren, is de levering van zuurstof via waterstofperoxide beperkt door:

- Toxiciteit van waterstofperoxide voor micro-organismen boven bepaalde concentraties (100 tot 200 mg/l)
- Grote verliezen aan peroxide ten gevolge van oxidatie van verbindingen in de bodem (humus, Fe^{2+}, Mn^{2+}, …). De reacties met metalen in de bodem kunnen aanleiding geven aan neerslagreacties (oxides) en daardoor de oorspronkelijke bodem minder doorlaatbaar maken.

De reactie met ijzer in de bodem kunnen beperkt worden door de toevoer van fosfaten (neerslag van het beschikbare ijzer) of door toevoeging van stabiliserende organische agentia.

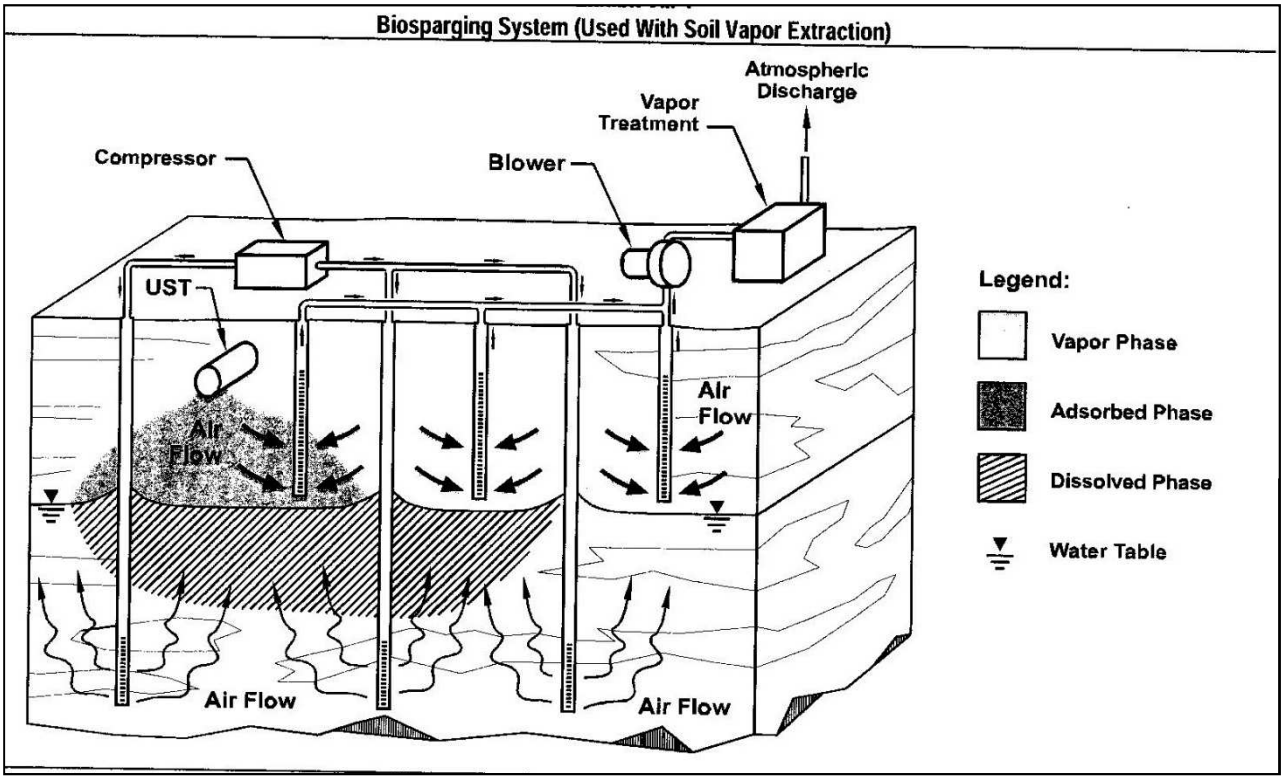
2.3.4 Toevoeging van zuurstof door injectie van lucht in het grondwater (biosparging)

Zoals sparging, bestaat deze techniek uit het injecteren van lucht in het grondwater. Het verschil bestaat er in dat er andere volumes van lucht geïnjecteerd worden : gezien het doel van de zuurstoftoevoer is om zuurstof in het grondwater in te brengen en niet de vervluchtiging en extractie van lichte fracties, zijn de volumes aan geïnjecteerde lucht die noodzakelijk zijn veel lager. In het algemeen, zijn de lucht injectie debieten in de grootteorden van 5 tot 20 m^3 lucht per uur en per put. **Figuur 1** stelt een schema voor van een opstelling van biosparging.

De techniek van ‘biosparging’ heeft eveneens een biologisch deel die geoptimiseerd kan worden door injectie van nutriënten en / of micro-organismen ter hoogte van de te saneren zone indien de natuurlijke condities niet optimaal zijn.

Figure 1 : schematische opstelling van een systeem van biosparging met recuperatie van bodemlucht

(Bron : USEPA, 1995, 510-D-95-007, How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites: A Guide For Corrective Action Plan Reviewers)



In het geval dat er in de bodem verontreinigende stoffen aanwezig zijn die vluchtig zijn, is het onvermijdelijk dat een deel ervan zal vervluchtigen richting de onverzadigde delen van de bodem. Rekening houden met het feit dat een heel groot deel van de bodem in gebruik is in het Brussel Gewest, is het noodzakelijk dat er een bodemlucht extractie systeem voorzien wordt. Het is aan de deskundige om tijdens de uitvoering van de piloottesten aan te tonen dat een bodemlucht onttrekkingssyteem niet noodzakelijk is in het geval dat er een biosparging systeem in werking wordt gesteld.

Deze methode van toevoer kan aangewend worden indien de verzadigde bodemlagen van de bodem homogeen en voldoende permeabel zijn (hydraulische conductiviteit $>10^{-6}$ m/s). Indien veel Fe en Mn in het grondwater aanwezig zijn vormt dit een nadeel doordat dit het risico verhoogd op verstopping van de filters en van de bodem in de nabijheid van de filters, ten gevolge van de neerslag van metaaloxides. De risico's die gelinkt zijn aan de methode van toevoer van zuurstof zijn :

- De ophoping van gas aangereikt met organische vluchtige en brandbare organische stoffen in afgesloten ruimten ;
- Acuut risico op verspreiding van de verontreinigende stoffen ten gevolge van het ontstaan van een hydraulische gradiënt rond de injectieputten.

2.3.5 Toevoer van andere elektron acceptoren

De toevoer van zuurstof wordt soms gecombineerd met de toevoer van andere elektron acceptoren om ervoor te zorgen dat wanneer het aanwezige zuurstof in het grondwater opgebruikt is (<0,5

mg/l), de biologische afbraak van de verontreinigende stoffen door micro-organismen die onder anaerobe condities werken kan overgenomen worden.

Alternatieve elektron acceptoren zijn :

- Nitraat, dat tevens een bron van stikstof vormt ;
- Sulfaat.

De andere elektron acceptoren die actief zijn tijdens de biodegradatie zijn Fe^{3+}, $CO_{2,}$ ...

Tabel 1 geeft de elektron acceptoren weer, andere dan zuurstof, die mogelijk kunnen aangewend wordt bij de biodegradatie van BTEX.

Tabel 1 : Elektron acceptoren die in aanmerking komen voor de biologische afbraak van BTEX

BTEX/ elektron acceptoren	Nitraat	Fe^{3+}	SO_4^{--}	CO_2
Benzeen	?	+	+	+
Tolueen	+	+	+	+
Ethylbenzeen	-	?	?	?
m-Xyleen	-	+	?	?
o-Xyleen	-	+	+	+
P-Xyleen	-	+	?	?

+ = afbraak verwacht, ? = geen referenties, - = geen afbraak verwacht (Code van goede praktijk – Natuurlijke attenuatie, OVAM 2003)

2.4 Toevoer van nutriënten

Om ervoor te zorgen dat er voldoende biomassa aanwezig is om de verontreinigende stoffen af te breken, is het aan te raden om nutriënten toe te voegen aan de bodem via infiltratie van opgeloste zouten. Deze toevoer heeft als doel om volgende ratio in de bodem te handhaven C : N : P = 100 :10 :1 (soms worden andere ratio's gebruikt (100 :5 :1 of 100 :10 :10), in termen van bruikbare hoeveelheden voor de micro-organismen.

De optimale hoeveelheden aan nutriënten die toegevoegd dienen te worden, worden bepaald aan de hand van laboratorium testen (batch test). De meest gebruikte nutriënten zijn : ureum dat gebruikt kan worden door micro-organismen na hydrolyse en enzymatische ammonificatie, het nitraat en het ammonium nitraat.

Een minimale concentratie van N (> 5 mg/l) in het grondwater is aangeraden. Het bekomen van een gehalte aan nitraat >50 mg/l, is echter te vermijden gezien dit gehalte overeenkomt met de interventienorm voor het grondwater in het BBHR van 29/03/2018 die de interventienormen en saneringsnormen bevat.

2.5 Correctie van de fysico-chemische en fysische eigenschappen van de bodem

De pH in het grondwater dient ideaal gesitueerd te zijn tussen 6 en 8. Een correctie van de pH in de bodem door infiltratie van een base of zuur kan voordelig zijn ingeval dat de pH die aangetroffen wordt niet overeenkomt met de gewenste situatie. De toe te voegen hoeveelheden (die soms groot kunnen zijn gezien de bufferende werking van de bodem) dienen in het laboratorium bepaald te worden.

In zure bodem, zal men er op toezien dat de toevoer van stikstof geen verzurende effect heeft voor de bodem (ammonium en in mindere mate, ureum).

De versnelling van biodegradatie van de verontreinigende stoffen door opwarming van de bodem (toevoer van stoom, ….) is soms aangeraden. Inderdaad, zoals voor alle biologische processen, wordt de afbraaksnelheid verdubbeld bij iedere stijging van 10 °C in de bodem. De temperatuur in de bodem dient strikt genomen te blijven tussen de grenzen van 10° C en 45 ° C. Onder 5 ° C, wordt aangenomen dat microbiële activiteit quasi nul is.

2.6 Bio-augmentatie

De toevoer van specifieke micro-organismen voor de afbraak van verontreinigende stoffen kan uitgevoerd worden indien:

- De afbraak van verontreinigende stoffen in de bodem via microbiële flora aanwezig in de bodem die van nature uit aanwezig zijn is te traag, zelfs nadat er stimulerende maatregelen werden genomen (toevoer van zuurstof, nutriënten …) ;
- De nodige micro-organismen voor natuurlijke afbraak zijn niet of onvoldoende aanwezig in de bodem.
- Laboratoriumtests met micro-organismen op generieke en specifieke culturen kunnen toelaten om de afwezigheid van het biodegradatiepotentieel van de op het terrein aanwezige flora in te schatten.

De micro-organismen kunnen op verschillende manieren aan de bodem toegevoegd worden :

- Directe toediening aan de bodem (voor oppervlakkige verontreinigingen) ;
- In het geval dat de pompinstallatie gekoppeld wordt aan een recirculatie van grondwater, kan het opgepompte en biologisch behandelde water geherinjecteerd worden nadat ze werden aangereikt met zuurstof, nutriënten en, ten gevolge van de behandeling, een belangrijke hoeveelheid micro-organismen bevat die aangepast zijn aan de geldende condities in de bodem.
- Injectie van een suspensie van micro-organismen, al dan niet aangereikt met nutriënten, rechtstreeks in de verzadigde lagen van de bodem. Sommige micro-organismen die gecommercialiseerd worden, zijn als dusdanig aangemaakt dat ze weinig adsorberen aan de bodem, wat hun verspreiding vergemakkelijkt.

Vaak moet de aanvoer van micro-organismen, periodiek herhaald worden rekening houdend met de mogelijke korte levensduur van de ingebrachte organismen.

Bio-augmentatie kan aangewend worden indien :

- De telling van bacteriën die in staat zijn de verontreinigende stoffen af te breken is $< 10^5$ organismen per gram bodem of per ml grondwater. Onder deze condities kan de afbraak van de verontreinigende stoffen zeer traag zijn. Deze situatie worden tegengekomen in bodems die arm zijn aan nutriënten of waarin inhibitoren of toxische stoffen aanwezig zijn.

- Indien de bodem naast biologisch afbreekbare verontreinigingen nog een aantal verontreinigingen bevat die fysisch of chemisch moeten worden verwijderd vooraleer de biologische reiniging kan starten, moet de biologische activiteit misschien kunstmatig hersteld worden.
- Indien de beschikbare termijn voor de behandeling beperkt is waardoor de bacteriën meteen moeten toegevoegd worden en operationeel moeten zijn zonder aanpassingstijd ;
- Indien er onzekerheid is over de aard en de efficiëntie van de populatie aan micro-organismen die van nature uit aanwezig zijn.

3. Beschrijving van de varianten

Volgende varianten kunnen overwogen worden :

3.1 Grondwateronttrekking met of zonder recirculatie

Volgens deze techniek, zal de migratie en de verdeling van het zuurstof (of van andere elektron acceptoren), van de nutriënten en eventueel ook van micro-organismen die in een punt van de grondwatertafel aanwezig zijn of ingebracht worden positief worden beïnvloed door het pompen van grondwater op een ander punt. Het opgepompte grondwater wordt vervolgens behandeld en kan ofwel geloosd worden of geïnfiltreerd worden in de bodem.

Deze methode heeft volgende voordelen :

- Bekomen van een betere gradiënt en dus een snellere verspreiding van elektron acceptoren, nutriënten en micro-organismen in de grondwaterlagen in vergelijking met enkel een infiltratie of injectie ;
- De invloedstraal van de geïnjecteerde materie in de grondwatertafel wordt vergroot ;
- Betere controle van de verspreiding van de ingebrachte bestanddelen en vooral van de verontreinigende stoffen die richting bedreigde receptoren migreren ;
- In geval van hercirculatie van biologische behandeld grondwater, aanvoer in de bodem van micro-organismen die aangepast zijn aan verontreinigende stoffen en aan de condities in de bodem;

De aspecten pompen, behandeling en recirculatie van grondwater maken deel uit van Code van goede praktijk n°1 (Pompen van vloeistoffen in de verzadigde zone van de bodem).

3.2 Gestimuleerde natuurlijke afbraak door toevoer tensioactieve agentia

Deze variante wordt gebruikt in geval van een zwakke biobeschikbaarheid die een remmende factor vormt voor de natuurlijke afbraak. Dit kan het geval zijn indien de verontreinigende stoffen sterk geadsorbeerd zijn aan de vaste fase van de bodem of gevangen zitten onder vorm van puur product in de microporiën van de bodem.

Om een remedie te kunnen vinden voor deze beperking, worden co-solventen (alcoholische verbindingen) en/of tensioactieve agentia in de bodem geïnjecteerd, samen met nutriënten en elektron acceptoren. Ten gevolge van deze toevoer, zijn de verontreinigende stoffen aanzienlijk meer oplosbaar en aanzienlijk meer beschikbaar voor biologische afbraak. Het type en de hoeveelheid van de tensioactieve agentia die geïnjecteerd dienen te worden moeten via labtesten bepaald worden.

De testen die uitgevoerd moeten worden in het laboratorium voor de tensioactieve agentia worden opgenomen in de Code van goede praktijk n°1 (Pompen van vloeistoffen in het verzadigde deel van de bodem).

3.3 Natuurlijke afbraak door opwarming van de bodem met behulp van stoominjectie

De opwarming van de bodem heeft volgend doel : verhogen van de oplosbaarheid en verminderen van de viscositeit van de aanwezige verontreinigende stoffen aanwezig in de vorm van product, met als gevolg een stijging van de mobiliteit en de biobeschikbaarheid voor de micro-organismen. De verspreidingssnelheid van de verontreinigende stoffen doorheen weinig permeabele lagen wordt eveneens verhoogd.

De hogere temperatuur van de bodem verhoogd tevens de biologische processen die verantwoordelijk zijn voor de afbraak. De temperatuur in de bodem en van het geïnjecteerde stoom mogen echter de 45 °C niet overschrijden. In dat geval zullen de afbraaksnelheden eerder dalen.
De aspecten die gelinkt zijn aan de injectie van stoom worden beschreven in de Code van goede praktijk nr. 2 over oppompen van gas in de onverzadigde zone.

Deze variante wordt maar zelden toegepast in het Brussel Gewest en kan enkel gerechtvaardigd worden indien de beschikbare tijdspanne voor de behandeling zeer kort is.

3.4 Injectie van colloïden met adsorberende eigenschappen voor versnelde biologische afbraak

De injectie van colloïdale oplossingen met goede verspreidings- en absorptie eigenschappen hebben volgende doelen :

- een snelle daling van de concentraties in het grondwater veroorzaken waardoor de toxiciteit van de verontreinigende stoffen voor micro-organismen daalt, in het geval dat deze verbindingen aanwezig zijn in te hoge concentraties ;
- beheersen van de verspreiding van verontreinigende stoffen die opgelost zijn (of in vrij fase) in het grondwater richting potentieel bedreigde receptoren of buiten de site;
- bevorderen van de biologische afbraak van de verontreinigende stoffen door het contactoppervlak tussen de verontreinigende stoffen en de micro-organismen te vergroten.

Gunstige resultaten voor de toepassing van de methode worden gerapporteerd voor lichte alkanen (type benzine), BTEX en gechloreerde solventen. Gezien deze methode innovatief is, is er weinig ervaring mee in het Brussels Gewest.

4. Nagestreefde doelen: pluim versus kern

Gestimuleerde natuurlijke afbraak wordt eerder toegepast voor verontreinigingspluimen dan bij verontreinigingskernen.

Inderdaad, ter hoogte van de kern, kunnen de concentraties aan verontreinigende stoffen sterk verhoogd zijn en zich bijgevolg toxisch of ongunstig zijn voor de micro-organismen verantwoordelijk voor de biotransformatie.

In de kernzone zijn de minder oplosbare verontreinigende stoffen (bijvoorbeeld koolwaterstoffen) vaak aanwezig onder vorm van vrije fase (DNALP) en dus weinig bio-beschikbaar voor de micro-organismen waardoor de behandeling van deze zones via biologische afbraak niet in een realistische tijdspannen gerealiseerd kan worden.

Het gebruiken van varianten, bijvoorbeeld injectie van tensioactieve bio-afbreekbare agentia of injectie van colloïdale suspensies zoals eerder vermeld kan een oplossing vormen voor de beperkingen die een kern van een verontreiniging met zich meebrengt : verontreinigende stoffen in vrije fase die 'gevangen' zitten in de microporiën alsook te hoge concentraties voor de micro-organismes.

5. Verontreinigingen en meest gunstige omstandigheden (kwalitatief)

5.1 Verontreinigingen waarvan verwacht wordt dat ze door gestimuleerde natuurlijke afbraak kunnen gesaneerd worden

Tabel 2, uit Code van goede praktijk n° 6 over natuurlijke afbraak, wordt hierna weergegeven. Ze geeft voor de meest voorkomende verontreinigingen een beoordeling weer van het kennisniveau van de afbraakmechanismen die in de bodem verantwoordelijk zijn voor de afbraak en een beoordeling van de kans op succes voor natuurlijke afbraak.

Tabel 2 : voornaamste verontreinigende stoffen die we in de bodem tegengekomen weer, met een indeling van de gekende afbraakmechanismen in de bodem en een weergave van de kans op slagen voor natuurlijke afbraak (Code van goede praktijk – Natuurlijke attenuatie, OVAM 2003)

Verontreiniging	Meest belangrijke afbraakproces	Huidig kennisniveau van de afbraakmechanismen	Kans op succes van de afbraak
Organische polluenten			
Koolwaterstoffen			
BTEX	Biotransformatie	hoog	hoog
Benzine - stookolie	Biotransformatie	gemiddeld	gemiddeld
Alifaten (weinig vluchtige)	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak
PAK's	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak
Creosoot	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak
Geoxideerde koolwaterstoffen			
Alcoholen met laag moleculair gewicht, ketonen en esters	Biotransformatie	hoog	hoog
MTBE	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
VOCl			
PCE, TCE, CCL_4	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
TCA, DCA	Biotransformatie/ abiotische transformatie	gemiddeld	zwak
Dichloormethaan	Biotransformatie	hoog	hoog
Vinylchloride	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
DCE	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
Aromatische halogeenverbindingen			
Sterk gehalogeneerd	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak
PCB's			
Pentachloorfenolen			
Chloorfenolen			
Tetrachloordibenzofuran			
Zwak gehalogeneerd			
PCB's	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
Dioxine	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
Monochloorbenzeen	Biotransformatie	gemiddeld	gemiddeld
Aromatische nitroverbindingen			
TNT, RDX	Biotransformatie/immobilisatie/abiotische transformatie	gemiddeld	zwak
Anorganische polluenten			
Metallisch			
Cr	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak/gemiddeld
Hg	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak
Niet metallisch			
As	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak
Se	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak
Oxi-anionen			
Nitraten	Biotransformatie	hoog	zwak
Perchloraten	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
Cianiden			
vrij	Biotransformatie	gemiddeld	gemiddeld
complex (ijzer)	immobilisatie	gemiddeld	zwak

Figuur 2 geeft voor de koolwaterstoffen die het vaakst worden tegengekomen een relatieve schaal weer van de biologische afbreekbaarheid.

Figuur 2 : Schaal van biologische afbreekbaarheid van de verschillende types koolwaterstoffen

(Bron: USEPA, 1995, 510-D-95-007, How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites: A Guide For Corrective Action Plan Reviewers)

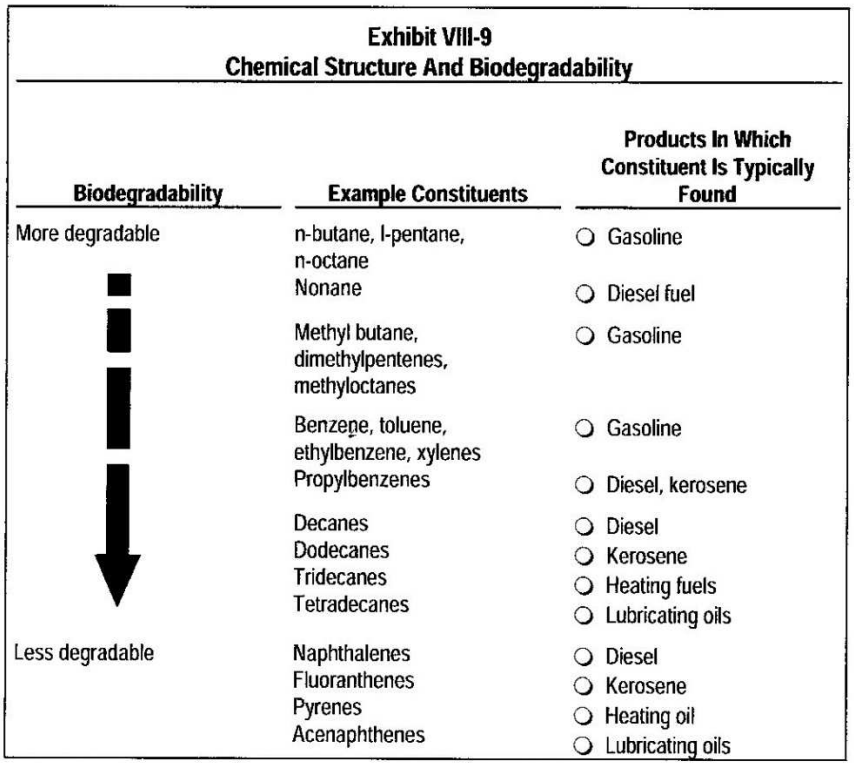


Exhibit VIII-9
Chemical Structure And Biodegradability

Biodegradability	Example Constituents	Products In Which Constituent Is Typically Found
More degradable	n-butane, I-pentane, n-octane	○ Gasoline
	Nonane	○ Diesel fuel
	Methyl butane, dimethylpentenes, methyloctanes	○ Gasoline
	Benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes	○ Gasoline
	Propylbenzenes	○ Diesel, kerosene
	Decanes Dodecanes Tridecanes Tetradecanes	○ Diesel ○ Kerosene ○ Heating fuels ○ Lubricating oils
Less degradable	Naphthalenes Fluoranthenes Pyrenes Acenaphthenes	○ Diesel ○ Kerosene ○ Heating oil ○ Lubricating oils

Andere gunstige kenmerken/omstandigheden zijn de volgende :

- De verontreinigende stof is mobiliseerbaar en beschikbaar voor contact met de micro-organismen in de bodem. Voor de koolwaterstoffen wordt gesteld dat de oplosbaarheid van de verbinding in het water > 0,1 g/l moet zijn en de verhouding verdelingscoëfficiënt octanol/water (K_{ow}) < 4. Voor koolwaterstoffen, geeft een K_{ow} <2 in het algemeen aan dat verontreinigende stoffen toxisch kunnen zijn voor de micro-organismen.
- Indien biosparging wordt overwogen als techniek, moeten de eigenschappen van de verontreinigende stof de volgende zijn :
    - Dampdruk < 0,5 mm Hg (<66,67 Pa)
    - Kookpunt > 250-300 °C
    - Henry constante < 100 atm (7,5 10^{-5} , geen eenheid)

  Zonder deze eigenschappen, zullen de verontreinigende stoffen eerder de neiging hebben om te vervluchtigen richting de gasfase van de onverzadigde zone van de bodem eerder dan te worden afgebroken in het verzadigde deel van de bodem.
- De verontreinigende stoffen worden afgebroken via biologische weg zonder aanleiding te geven aan toxische intermediaire afbraakproducten die kunnen opstapelen of migreren in de bodem.

Sommige bestaande databases geven voor de verschillende verontreinigende stoffen die worden tegengekomen in de bodem de bestaande afbraakmechanismen weer onder natuurlijke omstandigheden. Eén van de noemenswaardige databases hierrond is deze van de « University of Minnesota Biocatalysis/Biodegradation database » (http://eawg-bbd.ethz.ch/) .

5.2 Meest geschikte omstandigheden

Gestimuleerde natuurlijke afbraak van verontreinigende stoffen kan als techniek toegepast worden voor de behandeling van een verontreiniging in de grond of in het grondwater, met voldoende kans op slagen (gunstige resultaten), onder volgende omstandigheden.

- De te behandelen verontreinigende stoffen zijn niet in te hoge concentraties aanwezig in de kern van verontreiniging (toxisch of ongunstige omstandigheden voor de micro-organismen) en zijn homogeen verspreid.
  Voor koolwaterstoffen, wordt gesteld dat een totaal gehalte > 10.000 mg/kg in de bodem ongunstig is voor natuurlijke afbraak. Een gehalte aan zwaarder koolwaterstoffen (C30-C40) > 1000 mg/kg wordt eveneens beschouwd als ongunstig voor een succesvolle afbraak.
- De verontreinigende stoffen zijn, ter hoogte van de kern, niet aanwezig onder de vorm van een vrije fase (DNAPL) die bijvoorbeeld gevangen zit in de poriën van de bodem waardoor ze bijgevolg niet bereikbaar zijn. Rekening houdend met de lage biobeschikbaarheid van deze vrije fase zal de tijd die nodig zal zijn om voor de biologische afbraak ervan te lang zijn zonder dat gebruikt gemaakt wordt van bijkomende technieken.
- Er mag geen nalevering meer zijn van de bron van de verontreiniging (de toevoer van nieuwe verontreinigende stoffen is definitief gestopt).
- Homogene bodem : geen aanwezigheid van lagen en of lenzen met een andere textuur, geen aanwezigheid van preferentiële stromingsbanen door de aanwezigheid van nutsleidingen en ondergrondse structuren.
- De verzadigde en onverzadigde lagen (biosparging) van de bodem zijn voldoende permeabel om injectie of infiltratie en de gelijkmatige verspreiding van zuurstof, nutriënten en andere additieven toe te laten. Hydraulische conductiviteit > 10^{-6} m/s. Voor lagere conductiviteiten, moeten de afstanden tussen de verschillende injectieputten klein zijn (in de grootteorde van 4 a 5 m) waardoor, in het geval van grotere sites, dit hoge kosten met zich meebrengt.
- Voldoende of maar licht onvoldoende nutriënten aanwezig in de bodem en in het grondwater.
- Voldoende beschikbaarheid en toevoer van elektron acceptoren;
- pH in de bodem tussen 6 en 8 ;
- De verspreidingssnelheid van de verontreinigende stoffen is niet hoger dan de tijd die noodzakelijk is om de verontreiniging af te breken zodat de receptoren niet bedreigd worden.
- De aanwezigheid van micro-organismen in de bodem die ervoor zorgen dat de biotransformatie snel en volledig zal zijn, zonder vorming van intermediaire toxische en mobiele producten in de bodem ;
- De gegevens verkregen tijdens de onderzoeksfasen zijn voldoende gedetailleerd en volledig ;
- Laag gehalte aan organisch materiaal, afwezigheid van veenlenzen of –lagen die een grote adsorptiecapaciteit hebben van organische componenten waardoor een grote zuurstofvraag claimt van de bodem;
- Beperkte concentraties aan zware metalen die een toxisch effect hebben op de micro-organismen. In het algemeen wordt gesteld dat een gehalte aan zware metalen > 2.500 mg/kg (droge stof) een ongunstige factor is voor het succes van de natuurlijke afbraak door de toxiciteit voor de micro-organismen.
- Opgelost gehalte aan Fe^{2+} in het grondwater < 10 mg/l zodat het risico op verstopping van de bodem door neerslag van oxiden beperkt is in geval van zuurstof aanvoer ;

- Beperkte diepte van de te behandelen verontreiniging, anders dreigt het budget voor de behandeling via injecties sterk te stijgen.

Wanneer de behandeling impliceert dat er een systeem voor zuurstoftoevoer via biosparging voorzien wordt (met onttrekking van de gasfase van de onverzadigde lagen) dienen volgende kenmerken die gunstig zijn in acht te worden genomen :

- Minimale diepte van het grondwater > 1 m ten opzichte van het maaiveld;
- Aanwezigheid van een ondoorlatende afdek aan het oppervlak ;
- Beperkte aanwezigheid van vluchtige polluenten in het grondwater ;
- Afwezigheid van een ondoorlatende laag in de bodem waardoor de watertafel 'gevangen' zit;

Indien de behandeling wordt uitgevoerd met een variante van gestimuleerde natuurlijke afbraak + opwarming van de bodem door injectie van stoom, dienen volgende bijkomende kenmerken die gunstig zijn in acht te worden genomen:

- De thermische conductiviteit van de bodem is goed en homogeen;
- Afwezigheid van ondergrondse structuren die kunnen aangetast worden door een verhoging van de temperatuur : optische kabels, leidingen in PE, leidingen met teerhoudende isolatie, …

Indien de behandeling wordt uitgevoerd met een variante van gestimuleerde natuurlijke afbraak + toevoeging van tensioactieve agentia en/of co-solventen, dienen volgende bijkomende kenmerken die gunstig zijn in acht te worden genomen:

- Afwezigheid van ondergrondse structuren die kunnen aangetast worden door de aanwezigheid van deze additieven: kabels, leidingen in PE, leidingen met teerhoudende isolatie, …

6. Onderzoek van de technische haalbaarheid

6.1 Aanvaardingscriteria

De voornaamste criteria voor de aanvaarding van de gestimuleerde natuurlijke afbraak als techniek zijn de volgende :

- De verontreinigende stoffen zijn volledig biologisch afbreekbaar onder de omstandigheden die er op de site zullen zijn gedurende de volledig behandeling ;
- De verontreinigingsssituatie is voldoende gekend en er werd via een monitoring aangetoond dat natuurlijke afbraak wel degelijk plaatsvond en nog steeds in die mate plaatsvindt dat de doelstellingen behaald zullen worden;
- De doelstellingen kunnen binnen een redelijke termijn behaald worden en deze termijn is niet overdreven langer in vergelijking met andere technieken ;
- Er worden voldoende en objectieve gegevens aangeleverd die aantonen dat er tijdens het proces van de gestimuleerde natuurlijke afbraak geen bedreiging is en zal zijn van de receptoren en dat er geen relevante uitbreiding van de verontreinigingspluim kan verwacht worden.
- De gestimuleerde natuurlijk afbraak wordt beschouwd als een innovatieve techniek. In het geval dat de doelstellingen niet gehaald worden binnen een redelijke termijn, zal een meer actieve techniek overwogen moeten worden. In dit opzicht dient er reeds een gedetailleerde uitwerking van een actieve variant beschikbaar te zijn bij de opmaak van het saneringsvoorstel of van het risicobeheersvoorstel.

Volgende opmerkingen kunnen geformuleerd worden:

- De graad van nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de gegevens die moeten aangeleverd zijn afhankelijk van het type, de omvang van de verontreiniging en de risico's die ermee gepaard gaan.
- De termijn die ingeschat wordt voor het bereiken van de doelstellingen moet gelinkt zijn aan de heersende condities op de site : fysico-chemische kenmerken van de verontreinigende parameters, hydrogeologie van de site, kenmerken van de aquifer….
- Het gebruik van de site mag op langere termijn niet beperkt of gehinderd worden door het proces van de bewaakte natuurlijke afbraak. De verontreinigde zones op de site moeten bereikbaar blijven voor de opvolging van de verontreiniging en, in het andere geval, dient op voorhand toestemming aan de buren gevraagd worden indien de opvolging dient plaats te vinden op de naburige percelen.

6.2 Vooronderzoek : haalbaarheidsstudie

Minimaal volgende gegevens moeten beschikbaar zijn tijdens de haalbaarheidsstudie

<u>Parameters van de verontreinigende stoffen</u> :

- Type van de verontreiniging
- Ligging en uitbreiding (verticale en horizontale) van de kern van de verontreiniging
- Ligging en uitbreiding (verticale en horizontale) van de pluim van de verontreiniging
- Concentraties (grootte et distributie) in de kernzones en de pluimzones
- Vuilvracht in de kernzones en pluimzones voor de verschillende compartimenten van de bodem (vaste fase, vloeibare fase en gasfase) en de aanwezigheid van fase bestaand uit puur product. Dit vooronderzoek heeft betrekking op de verontreinigde stoffen en hun afbraakproducten die ook van verontreinigende aard zijn.
- Oorzaak en bron van de verontreiniging
- Achtergrondwaarden in de omgeving van de te behandelen site ; aantonen van mogelijke andere verontreinigingsbronnen in de omgeving

Bodemparameters :

- Als er een aquifer aanwezig is en deze in verband kan gebracht worden met de verontreiniging (actueel of potentieel) : het belang van de aquifer (fysisch en economisch)
- Aanwezigheid van gronwateronttrekkingsinstallatie in de aquifer (bestaand of gepland)
- Hydrodynamische parameters van de aquifer : hydraulische conductiviteit, hydraulische gradiënt, grondwater snelheid, bewegingsrichting van het grondwater (en eventuele variaties hierop), bodemsamenstelling (heterogeniteit en aanwezigheid van de verschillende lagen, preferentiële stromingsrichtingen,….
- Parameters die een invloed kunnen hebben op de mobiliteit van de verontreinigende stoffen (pH, kleigehalte, organische stofgehalte, …)
- Parameters die een invloed kunnen hebben op de (bio)afbreekbaarheid van de verontreinigende : redoxpotentieel, beschikbaarheid van elektron donoren of elektron acceptoren, aanwezigheid van verschillende verontreinigingen , …

Receptoren :

Identificatie en lokalisatie van de potentiële of actuele doelwitten : aquifers, grondwaterwinningen, oppervlaktewater, woonzones, groen zones en andere speciale zone (volgens de definitie zoals weergegeven in bijlage 3 van de BBHR van 29/03/2018)

Het voorafgaandelijke haalbaarheidsonderzoek zal uitgevoerd worden volgens volgende criteria.

Technische haalbaarheid :

- Onderzoek van de fysico-chemische kenmerken van de aanwezige verontreinigende stoffen, hun toxiciteit en hun vatbaarheid voor (bio)degradatie volgens literatuurgegevens.
- Onderzoek van de bodemkarakteristieken en van eventuele aanwezige aquifers en de invloed van deze parameters op de natuurlijke afbraak
- Onderzoek van de belangrijkheid en van de evolutie van de verontreiniging door de oorspronkelijke verontreinigende stoffen en de degradatie parameters met een verontreinigend potentieel: vuilvracht, aanwezige concentraties, horizontale en verticale uitbreiding, stabiliteit of evolutie van de uitbreiding van de verontreinigingsvlek (kern en pluim).
- Aanwezigheid van actuele of potentiële risico's voor gevoelige doelwitten (receptoren)
- Onderzoek van de specifieke karakteristieken van de site en hun compatibiliteit met een spontane afbraak van de verontreinigende stoffen op basis van gegevens die in de literatuur kunnen teruggevonden worden : bijvoorbeeld de pH, de redoxpotentiaal van de bodem, …

Praktische aspecten van de haalbaarheidstudie :

- Is het toekomstig gebruik van de site voldoende gekend ? Is de toegankelijkheid van de site gegarandeerd voor de volledige duur van de gestimuleerde natuurlijke afbraak ? Zal het niveau van de risico's stabiel blijven tijdens de volledig duurtijd van de geplande opvolging ?
- De eigenaars van de naburige percelen die mogelijk betrokken zullen worden indien de verontreinigingsvlek uitbreidt, de wijze waarop deze percelen gebruikt worden en de toegankelijkheid van deze percelen indien opvolging op deze nodig zal zijn.
- In het geval de natuurlijke afbraak onvoldoende zou zijn, zijn de alternatieve (en relevante) technieken voldoende onderzocht en kunnen deze op een realistische manier in

werking worden gesteld ? De haalbaarheid van de alternatieve technieken moet nagegaan worden tijdens de uitvoeringsfase van de bewaakte natuurlijke afbraak.

- Omvang van de site : de site waarop het project betrekking heeft moet voldoende groot/toegankelijk zijn voor de stockage en voorbereiding van de additieven, de injecties of infiltraties, de pompen en onttrekkingssystemen voor gas (voor biosparging) en vloeistoffen (in geval van recirculatiesystemen), alsook de eventuele installaties voor de behandeling van opgepompt gas, de opgepompte vloeistoffen, de eventuele installaties voor de voorbereiding van stoom;
- Gevoelig milieu : er zijn op de site of in de onmiddellijke omgeving geen personen of activiteiten waarvan verwacht wordt dat ze gehinderd zouden worden door de eventuele injecties en eventuele pompen : lawaai van de compressors, pompen en reinigingsinstallatie, geur, risico op emissies van stoom, lekken, …..
- Obstakels in de ondergrond : geen ingrijpende aanwezigheid op de site of in de omgeving van de site van ondergrondse structuren die preferentiële stromingen kunnen veroorzaken voor de verspreiding van additieven onder vloeibare of gasvormige fase : distributienetwerk voor gas, water, elektriciteit, optische vezels, riolering, … of obstakels die een barrière kunnen vormen voor deze verspreiding (metro of spoorweg,….). De aanwezigheid van kabels en leidingen mag geen obstakel vormen voor de plaatsing van injectiefilters.
- Afwezigheid van ondergrondse infrastructuur die gevoelig is voor corrosie ten gevolge van de toediening van elektron acceptoren (zuurstof en peroxiden), tensioactieve agentia : tanks, leidingen, bewapend beton, metallische structuren ….

Financiële en economische haalbaarheid

- De technische haalbaarheidsstudie voor de uitvoering van een gestimuleerde natuurlijke afbraak houdt een gedetailleerde studie in, die op zich al belangrijke kosten met zich meebrengen.
- De kosten voor een langdurende opvolging van het proces kunnen ook hoog oplopen. Werden deze kosten correct ingeschat, rekening houdend met een lange termijn visie? Werd de financiële impact van een lange termijn opvolging op het gebruik van het perceel en haar commerciële waarde voldoende geëvalueerd ?
- De evaluatie van de kans dat er een alternatieve techniek aangewend zal uitgevoerd moeten te worden. De evaluatie van de kosten voor de gestimuleerde natuurlijke afbraak moet rekening houden met de mogelijke implementatie van deze alternatieve techniek.
- De vergelijking van de kosten tussen een lange termijn opvolging van gestimuleerde natuurlijke afbraak en een meer actieve techniek dient opgemaakt te worden op basis van volledige en betrouwbare gegevens. Zo moeten bijvoorbeeld de meerkosten die gelinkt zijn aan onzekerheid door ontgraving + ex situ verwerking in rekening gebracht worden, alsook de meerkosten die gelinkt zijn aan lange duurtijd van natuurlijke afbraak, het gedetailleerd onderzoek van de te behandelen zone en de eventuele noodzaak om beroep te moeten doen op een alternatieve techniek.

Kans van aanvaarding door de publieke opinie en van de autoriteiten

Deze kans hangt af van volgende elementen :

- Betrouwbaarheid van de evaluatie van de risico's
- Kans op succes van de gestimuleerde natuurlijke afbraak in vergelijking met de betrouwbaarheid van andere, meer actieve, technieken om de verontreiniging aan te pakken
- De tijd dat het perceel al dan niet langer in categorie 4 dient te blijven van de inventaris

De impact van de verschillende onderzoekscriteria op de haalbaarheid van een aanpak via bewaakte natuurlijke afbraak kan (op kwantitatieve manier) samengevat worden zoals voorgesteld in **Tabel 3**.

Opmerking : Gestimuleerde natuurlijke afbraak als methode op zich kan niet aanvaard worden als de dominante mechanismen waardoor deze afbraak optreedt de volgende zijn : verdunning, verdamping, reversibele adsorptie en reversibele neerslagreacties.

Tabel 3 : Kwalitatief onderzoek van de van de impact van de verschillende criteria van het voorafgaandelijke haalbaarheidsonderzoek

Evaluatiecriteria	Gunstige situatie	Intermediaire situatie	Ongunstige situatie
A. Technische aspecten			
Bron van de verontreiniging	Verwijderd/verdwenen	uitgeput of bijna uitgeput	Aanwezig of nog actief
NAPL aanwezig, drijflaag	Verwijderd/verdwenen	Aanwezig maar beperkte omvang	Aanwezig en grote omvang
Pluim	Ruimtelijk goed afgeperkt en inkrimpend	Stabiel	Contour slecht bepaald en in expansie
Risico op verspreiding voorbij de perceelsgrens	geen risico	beperkt risico	verwacht risico
Theoretische verwachting voor afbraak rekening houdend met de heersende terreinspecifieke condities	goed	gemiddeld	zwak of onzeker
Mobiliteit van het polluent	zwak	gemiddeld	Hoog
Afbraakmechanismen	Irreversibele afbraak tot op het eindstadium		Onvolledige/ reversibele afbraak

Intermediaire afbraakproducten	intermediaire producten ook afgebroken/geen verder risico		Intermediaire producten accumuleren/verder risico
Effecten ten gevolge van gemixte verontreinigingen	Geen effect : natuurlijke afbraak gaat door zonder beïnvloed te worden		Effect van de combinatie van de verontreinigingen : natuurlijke afbraak van polluent 1 beïnvloed op negatiever manier deze van polluent 2
Watervoerende lagen : homogeniteit en isotropie	Homogeen en isotroop		Heterogeen/ anisotroop
Aanwezigheid van een bedreigde receptor			
'- actueel	afwezig	aanwezig maar laag risico	aanwezig : hoog risico
'- potentieel	afwezig	aanwezig maar laag risico	aanwezig : hoog risico
Nabijheid van een beschermingszone van een waterwinning of een waterwinning	afwezig		Aanwezigheid van een beschermingszone type I, II of III volgens de definitie gegeven door de BBHR van 19.09.2002
Belang van het gebruik van het grondwater, in het heden of in de toekomst	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
'- privé gebruik	zwak	gemiddeld	hoog
-' industrieel gebruik	zwak	gemiddeld	hoog
Betrouwbaarheid van de opvolgingsgegevens	Hoog : verzamelen van gegevens voor een periode langer dan twee jaar		Laag : verzamelen van gegevens voor een periode minder dan twee jaar
Geldigheid van de gegevens betreffende de vuilvracht en de verdeling tussen de verschillende fases van de bodem en 3D verspreiding	Hoog (verontreiniging enkel in opgeloste vorm)		Laag (bijvoorbeeld door onzekerheid over het mogelijk aanwezig zijn van een puur product fase)
B. Bevoegde instanties			

Mogelijkheid tot aanvaarding	Niet in conflict met directieven en procedures ; geen technische onzekerheden	Niet in conflict met directieven en procedures ; technische onzekerheden	In conflict met directieven en procedures ; technische onzekerheden
C. Praktische aspecten en economische haalbaarheid			
Meetpunten voor controle liggen buiten de grenzen van het terrein	Toegang zonder beperkingen	Toegang mogelijk	Toegang beperkt of onmogelijk
Financiële aspecten	Budgeten beschikbaar op lange termijn financieringsbron op wettelijke basis gegarandeerd	Budgeten beschikbaar op lange termijn financieringsbron niet op wettelijke basis gegarandeerd	Geen budget voorzien op de langere termijn

7. Specifiek haalbaarheidsonderzoek

Volgende stappen kunnen gevolgd worden.

7.1 Eerste stap van het haalbaarheidsonderzoek

Uitvoeren van een trendanalyse op de gegevens van de gemeten concentraties van de opeenvolgende bemonstering die over verschillende jaren werd gemeten. Een dalende trend van de ernst van de verontreiniging kan als volgt vastgesteld worden :

- Een daling van de gemeten concentraties in de verschillende bemonsteringspeilbuizen.
- Een daling van de concentraties in de grondwaterstromingsrichting ter hoogte van de pluimzone.

Als de dalende trend het voornaamste argument is om de haalbaarheid van de gestimuleerde natuurlijke afbraak te bepalen, dient deze trend bevestigd te worden op basis van metingen die werden uitgevoerd over een periode van minimaal 3 jaar, met per jaar 2 tot 4 meetcampagnes. Op die manier kan de evolutie van de concentraties aan verontreinigende stoffen statistisch gezien als significant beschouwd worden. De vastlegging van het aantal bemonsteringen en de frequentie ervan dient rekening te houden met seizoensfluctuaties en variabelen in de hydrogeologische parameters van de site.

De statistische trendanalyse moet berusten op een voldoende aantal meetpunten (bijvoorbeeld, minimaal 8 meetpunten indien een Mann-Kendall trendanalyse dient uitgevoerd te worden). De gegevens die bekomen werden tijdens de verschillende onderzoeksfases mogen gebruikt worden indien de metingen vergelijkbaar zijn en niet berusten op een confirmation bias. Indien de trendanalyse gebeurt via een statistische methode, dient de deskundige de gebruikte methode te onderbouwen.

Opmerking : een trendanalyse van de concentraties geeft geen indicatie over de mechanismen die verantwoordelijke zijn voor de trend : afbraak van de verontreiniging of verdunning of reversibele processen.

7.2 Tweede stap van het onderzoek

Dit onderzoek dient om aan te tonen dat de (bio)afbreekbaarheid van de verontreinigende stoffen weldegelijk plaatsvindt. Dit kan op verschillende manieren gebeuren :

- De micro-organismen die nodig zijn voor de (bio)degradatie zijn weldegelijk aanwezig en actief : de aanwezigheid van bacteriën die de verontreinigende stoffen gebruiken voor hun voortplanting werden gedetecteerd in de verontreinigde zones, de activiteit van de micro-organismen werd gedetecteerd doordat afbraakproducten werden teruggevonden (zeker als deze niet werd aangetroffen buiten de verontreinigde zones).
- De heersende condities in de ondergrond zijn gunstig voor de afbraak van de verontreinigende stoffen : de toevoer en de verdeling van elektron donoren of elektron acceptoren is verzekerd, de bio-beschikbaarheid van de verontreinigende stoffen is voldoende, de duurzaamheid van de natuurlijke afbraak is verzekerd.
- Het gebruik van geochemische of biochemische indicatoren van de natuurlijke afbraak : daling van de concentraties aan O_2 en nitraat, stijging van de methaan concentraties, alsook van opgeloste Fe^{2+} en Mn^{2+}, aanwezigheid van afbraakproducten van de verontreinigende stoffen of van intermediaire producten. Deze metingen geven informatie over de types van mechanismen die verantwoordelijk zijn voor de afbraak alsook van de snelheid ervan. Ze laten ook toe om na te gaan wat de invloed is van andere mechanismen (niet destructieve mechanismen zoals verdunning, verdamping, reversibele adsorptie….). De

weergave van de gegevens op concentratiekaarten (contourkaarten) naast kaarten die de verdeling weergeven van de stoffen kunnen handige instrumenten zijn voor interpretaties. De relatie tussen de concentraties aan verontreinigende stoffen en de waarden van de indirecte indicatoren, vergeleken met de afstand vanaf de bron kunnen ook gevisualiseerd worden.

De **tabellen 4a, 4b et 4c** stellen de parameters voor die moeten gemeten en/of gekwantificeerd worden voordat een programma van gestimuleerde natuurlijke afbraak voor een verontreiniging in de bodem en/of het grondwater kan opgestart worden. Deze tabellen dienen als een checklist van gegevens die moeten bekomen worden, ofwel tijdens de verschillende opeenvolgende onderzoeksstadia (verkennend bodemonderzoek, gedetailleerd onderzoek, risico onderzoek) ofwel tijdens de voorbereidingsfase van het saneringsvoorstel of het risicobeheersvoorstel, dit voor de opstart van eventuele laboratorium testen, of voor de werken indien deze geen voorstel vereisen. In deze tabellen wordt een onderscheid gemaakt tussen twee niveaus van vereisten :

- Parameters waarvan de metingen of de ramingen altijd vereist zijn
- Parameters waarvan de metingen of de ramingen nuttig kunnen zijn

7.3 Derde stap van het haalbaarheidsondezoek

Deze stap heeft als doel de haalbaarheid van de gestimuleerde biologische afbraak te bevestigen aan de hand van laboratorium testen en veldtesten op kleine schaal. Deze testen hebben als doel om een antwoord op volgende vragen te geven :

- Kan de verontreinigde bodem biologisch gesaneerd worden ?
- Welk zijn de optimale condities van het proces ?
- Op welke snelheid zal de behandeling verlopen ?
- Welk zijn de residuele gehalten waarmee rekening moet worden gehouden ?
- Welke intermediaire producten (eventueel toxisch en/of niet afbreekbaar) zullen gevormd worden tijdens dit proces ?
- Wat is het effect van de toevoer van nutriënten (N en P) ?
- Wat is het effect van het inbrengen van micro-organismen in de bodem ?
- Wat is het effect van de toevoer van andere additieven zoals tensioactieve agentia, co-metabolieten ?

De resultaten van deze testen zullen gebruikt worden tijdens de fase van het voorontwerp van de het voorstel.

De laboratoriumtesten worden in het algemeen uitgevoerd onder de vorm van batchtesten door het mengen van een suspensie van de bodem in grondwater (grout), met toevoer van lucht. Deze condities worden als optimaal beschouwd en resulteren in een snellere biologische afbraak dan bij terreincondities. Tijdens de behandeling, worden volgende parameters regelmatig opgemeten :

- CO_2 productie;
- O_2 consumptie;
- Systematisch : pH et concentraties aan verontreinigende stoffen (bron product en intermediaire producten).

In het begin en op het einde van de behandeling, worden de pH en de concentraties aan verontreinigende stoffen (bron product en intermediaire producten) opgemeten, alsook eventueel, de concentraties aan N en P. Deze analyses kunnen aangevuld worden door tellingen van

bacteriën die verantwoordelijk zijn voor de afbraak, PCR testen en onderzoek naar stabiele isotopen.
leder type behandeling dient herhaald te worden en dient onderworpen te worden aan een abiotische controle behandeling. Deze laatste laat toe om het onderscheid te maken tussen de daling van de concentraties ten gevolge biologische afbraak of van abiotische fenomenen (sorptie, chemische afbraak, …). Deze testen laten toe om een massabalans op te stellen en de kinetiek van de behandeling vast te stellen. Ze hebben tevens als doel de optimale combinatie van verschillende factoren te bepalen (toevoeging van nutriënten, van tensioactieve agentia, van eventuele bacteriële enten) tijdens de behandeling op ware grote. Ze geven tevens een idee over de minimale residuele gehalte aan verontreinigende stoffen die mogelijk verwacht kunnen worden in optimale condities, wat toelaat om een meer betrouwbaar voorstel uit te werken over de te behalen doelstellingen. Ze laten tevens toe om vast te stellen of de afbraak van de verontreinigende stoffen al dan niet volledig kan gebeuren tot de productie van onschadelijke verbindingen die van nature uit voorkomen in de bodem. Ze kunnen tevens nuttig zijn om, bijvoorbeeld, de afbraak van weerbarstige verbindingen aan het licht te brengen (benzeen in anaërobe condities, MTBE in aërobe condities).

De uitvoering van batch testen nemen ongeveer 6 à 8 weken in beslag (afhankelijk van het type aanwezige verontreinigende stoffen). Een staal van 2 kg dat representatief is voor de verzadigde zone die verontreinigd is, is hiervoor noodzakelijk.

Een variante op deze batchtesten zijn de respirometrie testen in een laboratorium. Bij deze methode circuleert een gasvormige flux continu doorheen een suspensie van de bodem en de gehaltes aan CO_2 et en O_2 van het effluent gas worden continu geanalyseerd. Op die manier is het mogelijk om de snelheid van respiratie door micro-organismes op te meten. Van zodra deze daalt, zal de test stopgezet orden en zullen de residuele concentraties worden opgemeten. Deze test, die uitgevoerd wordt in gesloten condities is toepasbaar voor vluchtige componenten (zware oliën, PAK's, …).

Laboratoriumtesten op grotere schaal, in reactoren, kunnen ook uitgevoerd worden. In deze reactoren (volumes tot 100 l), kunnen parameters zoals de gehaltes aan O_2, CO_2, T°, … continu opgemeten worden en worden regelmatig stalen van bodem en grondwater bemonsterd.

Veldtesten die uitgevoerd dienen te worden in de verzadigde zone van de bodem zijn meestal van het type « push-pull ». Een gekende hoeveelheid water wordt rechtstreeks in de aquifer geïnjecteerd met behulp van injectieputten. Aan dit water, dat verzadigd is aan O_2 en tevens verrijkt is met nutriënten en tensioactieve agentia, wordt ook een tracer toegevoegd die niet biologisch afbreekbaar is (van het type Br^- bijvoorbeeld). Periodisch worden stalen van het grondwater bemonsterd in de injectieputten en worden geanalyseerd op gehaltes aan O_2 en het tracer element. De metingen van de gehaltes aan de tracer laten toe om op een kwantitatieve manier de verdunning van de geïnjecteerde additieven te ramen. Op basis van de opgemeten gegevens, is het mogelijk om een raming te bekomen van de snelheid van de respiratie.

In het geval dat biosparging toegepast wordt, kunnen « start-stop » testen gevoerd worden. Deze bestaan uit de injectie van lucht in de injectieputten, en éénmaal deze injecties gedaan zijn kan een periodieke staalname uitgevoerd worden aan de hand van een monitoringspeilbuis om de evolutie aan gehaltes aan opgeloste O_2 op te volgen. Deze test laat toe om de respiratie snelheid in te schatten in geval biosparging toegepast wordt.

7.4 Noodzaak voor een pilootproef

De deskundige kan in het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 29/03/2018 tot vaststelling van de type-inhoud van het risicobeheersvoorstel, van het saneringsvoorstel, de aangifte voorafgaand aan de behandeling van beperkte duur en de modaliteiten van de bekendmaking door aanplakking van de behandeling van beperkte duur, die o.a.de inhoud bepaald van het risicobeheersvoorstel, het saneringsvoorstel, de behandeling van beperkte duur en die de voorwaarden biedt die noodzakelijk zijn voor de inhoud en de argumentaties van een piloottest.

Rekening houdend met de mogelijke duurtijd van een pilootproef, lijkt deze optie niet relevant te zijn. Als de resultaten van het vooronderzoek naar de haalbaarheid van de gestimuleerde natuurlijke afbraak gunstig zijn en voldoende betrouwbaar zijn, kan gestart worden met de opstelling van de nodige maatregelen voor de opvolging van de natuurlijke afbraak.

De maatregelen die genomen worden om de natuurlijke afbraak te kunnen opvolgen zullen de mogelijkheid bieden om, van bij de opstart van de opvolging, na te gaan of de gestimuleerde natuurlijke afbraak even efficiënt verloopt dan voorzien of, in het andere geval, dat een actievere aanpak via één of meerdere andere technieken noodzakelijk is.

Echter, in het geval van biosparging, is een piloottest op ware grote nodig om volgende parameters te kunnen bepalen :

- Invloedstraal van de injectieput in termen toevoer van O_2 ;
- Debieten en injectiedruk;
- Piëzometrische stijghoogtes ter hoogte van de injectie ;
- Gehaltes aan vluchtige verontreinigende stoffen in de onverzadigde lagen van de bodem ;
- Eventueel, de prestaties van de gasonttrekkingsputten in het verzadigde deel van de bodem : actieradius, debieten en drukverlaging van de onttrekking en samenstelling van het onttrokken gas.

Voor de uitvoering van piloottesten in het geval van biosparging, wordt verwezen naar Code van goede praktijk nr 2 m.b.t. de onttrekking van gas in het onverzadigde deel van de bodem.

In het geval van rechtstreekse injectie onder druk of van toevoer in de injectieputten van gels of van grout die materiaal bevatten die de trage vrijlating van O_2 mogelijk maken, zal een piloottest ook gerealiseerd worden met als doel het optimale grid te bepalen voor de verspreiding van de injectiepunten. Tijdens deze piloottesten worden volgende parameters opgemeten:

- Invloedstraal van de injectieput in termen toevoer van O_2;
- Gehaltes aan O_2 ter hoogte van de behandelen pluim.

Om de kosten te kunnen drukken voor de uitvoering van piloottesten (mobilisatie zonder machinale injectie) is het mogelijk om vereenvoudigde testen uit te voeren : een peilbuis voor toediening van additieven en 3-4 peilbuizen in de omgeving die toelaten de nodige paramaters op te meten.

In het geval van gestimuleerde natuurlijke afbraak door opwarming van de bodem, zal tevens een piloottest uitgevoerd worden om de debieten te bepalen nodig voor stoominjectie en de verspreiding van de injectieputten.

Tabel 4a : Parameters van de polluenten die bekomen moeten worden voordat het programma van bewaakte natuurlijke afbraak kan opgestart worden.

Parameters	Type van opvolging	Opmerkingen/commentaar
Verontreinigingsbron al dan niet nog aanwezig	Historische studie, terreinbezoek	Ter beschikking na het verkennend onderzoek
Concentraties in de bodem		
Concentraties in de bodem : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > terugsaneerwaarde/doelstelling)	Boringen, staalname en analyses van de bodem en afperking	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Concentraties in de bodem : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > terugsaneerwaarde/doelstelling)	Boringen, staalname en analyses van de bodem en afperking	Voor verontreinigende stoffen voortgekomen door biodegradatie
Inschatting van de totale vuilvracht	Op basis van ingeschatte volumes en gemiddelde concentraties	Voor alle verontreinigende stoffen die betrokken zijn in de keten van de biologische afbraak
Concentraties in het grondwater		
Concentraties in het grondwater : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > terugsaneerwaarde/doelstelling)	Plaatsing van peilbuizen, staalname en analyses van grondwater en afperking	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Concentraties in het grondwater : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > terugsaneerwaarde/doelstelling)	Plaatsing van peilbuizen, staalname en analyses van grondwater en afperking	Voor verontreinigende stoffen voortgekomen door biodegradatie
Inschatting van de totale vuilvracht	Op basis van ingeschatte volumes en gemiddelde concentraties	Voor alle verontreinigende stoffen die betrokken zijn in de keten van de biologische afbraak
Retardatiefactor	Kd waarden en effectieve porositeit van de aquifer	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het risico onderzoek
Migratie snelheid van de polluent volgens de longitudinale richting (verspreiding van de pluim in de richiting van de grondwaterstroming)	Simulatie met behulp van analytische modellen : Domenico vergelijkingen met longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten …. Of gebruik van numerieke modellen zoals MODFLOW, ...	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het risico onderzoek
Migratie snelheid van de polluent volgens de laterale richting (verspreiding van de pluim loodrecht op de richting van de grondwaterstroming)	Simulatie met behulp van analytische modellen : Domenico vergelijkingen met longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten …. Of gebruik van numerieke modellen zoals MODFLOW, ...	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het risico onderzoek
Verticale bewegingssnelheid in de bodem (verticale verspreiding van de pluim tijdens de migratie ervan)	Simulatie met behulp van analytische modellen : Domenico vergelijkingen met longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten …. Of gebruik van numerieke modellen zoals MODFLOW, ...	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het risico onderzoek
Trendanalyse van de concentraties in de bodem over verschillende jaren	Boringen, staalname en analyses van de bodem en afperking	Aantal controlepunten en meetcampagnes zijn voldoende - Voor de bronproducten en intermediaire producten

Trendanalyse van de concentraties in het grondwater over verschillende jaren	Plaatsing van peilbuizen, staalname en analyses van grondwater en afperking	Aantal controlepunten en meetcampagnes zijn voldoende - Voor de bronproducten en intermediaire producten
Trendanalyse van de totale vuilvracht over verschillende jaren	Op basis van ingeschatte volumes en gemiddelde concentraties	Aantal controlepunten en meetcampagnes zijn voldoende - Voor de bronproducten en intermediaire producten
Concentraties in de gasfase van de bodem (bodemlucht)		
Controle van de concentraties aan verontreinigende stoffen in de gasfase van de bodem	Controle peilbuizen installeren om concentraties in de gasfase van de bodem op te volgen	Indien noodzakelijk wordt geacht door de deskundige rekening houdend met de bijdrage van de gasfase in vergelijking met de totale vuilvracht
Aanwezigheid van vrij fase (DNAPL)		
Aanwezigheid van een vrije fase nagaan	Bemonstering en analyse van bodem en grondwaterstalen in de kernzone	
Horizontale en verticale verspreiding van de vrije fase nagaan	Observatie van de aanwezigheid van een vrije fase (drijflaag/zinklaag) ter hoogte van een netwerk van peilbuizen - meetcampagnes aan de hand van een MIP-systeem of door bodemluchtmetingen	Indien aanwezig
Inschatting van de totale vuilvracht, alle fases van de bodem in rekening gebracht	Op basis van ingeschatte volumes en gemiddelde concentraties	
Fysico-chemische eigenschappen van de aanwezige polluenten		
Beschikbaarheid van de polluenten voor een spontane afbraak in de bodem - Gunstige en ongunstige condities	Literatuurgegevens	Voor alle aanwezige polluenten individueel bekeken - effect van de combinatie van de verschillende polluenten
	= parameters waarvan de meting of inschatting vereist is	
	= parameter waarvoor de meting of inschatting nuttig is	

Tabel 4b: bodemparameters op te meten voor de behandeling met gestimuleerde biologische afbraak

Parameters	Type van opvolging	Opmerkingen/commentaar
Hydrodynamische parameters van de bodem		
Stratigrafie van de bodem : aquifers, aquitards, aquicludes, …	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen en beschrijvingen van de bodemlagen	Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Peilbuzen van de aquifer(s), hydraulische gradiënten, stromingsrichting, ingesloten of half ingesloten karakter	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen en beschrijvingen van de bodemlagen , plaatsing van peilbuizen, opvolging van de stijghoogtes en bemonstering van peilbuizen	Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Kracht van de aquifer(s)	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen en beschrijvingen van de bodemlagen	Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Siezoensfluctuaties van de grondwaterstijghoogtes	Opvolging van de stijghoogtes tijdens de opeenvolgende meetcampagnes	
Bodemkarakteristieke in de verzadigde zone		
Concentraties aan nutriënten : Stikstof (nitraat en ammoniak), Fosfor	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	OVAM 2003
PCR test en bepaling van hoeveelheid bacteriën : populatie van de specifieke bacteriën	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	OVAM 2003
Karakteristieken van het grondwater		
Fysico-chemische parameters van het grondwater : pH, Ec, opgeloste O2 T°	Metingen op het terrein	Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Chemische parameters : metingen van intermediaire afbraakproducten : TOC, elektron acceptoren : Nitraat, Fe(III), Mn(IV), sulfaat, CO2, alsook : Fe (II) et Mn (II)	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	OVAM 2003
Andere chemische parameters : nitrieten, Fe(II), Mn(II), sulfiet, sulfide.	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	OVAM 2003

Fenolindex	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	Indicatoren van de afbraak van aromatische verbindingen zoals BTEX (OVAM 2003)
Concentraties aan nutriënten : stikstof totaal, fosfaat, Ca	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	OVAM 2003
PCR test en bepaling van hoeveelheid bacteriën : populatie van de specifieke bacteriën	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	OVAM 2003
Bijkomende parameters in geval van oppompen en herinfiltratie na behandeling van het water		
Invloedstraal van de pompputten	Pomptest (lange duur) en controle peilbuizen	
Correlatie tussen verlaging en pompdebieten	Pomptest (lange duur) en controle peilbuizen	
Graad van verdichting van de verschillende opeengestapelde bodemlagen	Pomptest (lange duur) en controle peilbuizen	
Fysico-chemische parameters van het opgepompte grondwater : Concentraties aan Fe, Mn, As, Carbonaten, zwevende deeltjes, pH, Eh, Sulfaten, ….	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	
Infiltratiecapaciteit van de bodem door injectie in de verzadigde zone en/of in de onverzadigde zone (putten, drains of sleuven)	Continue infiltratietesten, of in intervallen op het terrein	Met het in rekening brengen van de invloed van toeslagstoffen op de infiltratiecapaciteit van de bodem (stabiliteit van de structuur, ...)
Fysico-chemische parameters van het opgepompte en behandelde grondwater : Concentraties aan Fe, Mn, As, Carbonaten, zwevende deeltje en risico op verstopping	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	
Capaciteit van het systeem om de totaliteit of quasi de totaliteit van de geïnjecteerde stoffen en de verontreinigende stoffen waarvan de mobiliteit gestimuleerd is te onderscheppen.	Zie piloottest + simulatie op basis van transport- en stromingsmodellen : MODFLOW, MODPATH of andere	
Bijkomende parameters in het geval van (met bodemluchtextractie)		
Type verharding aan de oppervlakte (indien aanwezig)	Nagaan welke de doorlatendheid is van de oppervlakte	Voor de behandeling van oppervlakkige verontreinigingen
Permeabiliteit van bodem (voor lucht)	Pomptest van de bodemlucht	
Invloedstraal van de onttrekkingsputten	Pomptest van de bodemlucht	
	= parameters waarvan de meting of inschatting vereist is	
	= parameter waarvan de meting of inschatting nuttig is	

Tabel 4c : parameters van de te betreffende site die geëvalueerd moeten worden voordat het programma van bewaakte natuurlijke afbraak kan opgestart worden

Parameters	Type van opvolging	Opmerkingen/commentaar
Aanwezigheid van kabels en leidingen in de bodem, op de site of in de onmiddellijke omgeving	Opvragen van informatie over kabels en leidingen bij nutsmaatschappijen, gemeente,….	Uitgevoerd tijdens het verkennend en gedetailleerd onderzoek
	Detectie op het terrein : voorboren, CAT-scan ,….	Uitgevoerd tijdens het verkennend en gedetailleerd onderzoek
Aanwezigheid van bedreigde receptoren ter hoogte van de betreffende aquifer en andere onderliggende aquifers	Inventaris van de waterwinningen, hydrogeologische studie	Uitgevoerd tijdens het gedetailleerd onderzoek
Toegankelijkheid van de site voor opvolgingscampagnes	Inventaris	
Kans dat verontreinigingspluim de nabijgelegen percelen nadert of bereikt	Simulatie op basis van bekomen gegevens	
Toegankelijkheid van de buurtpercelen indien de opvolgingscampagnes daar uitgevoerd moeten worden	Inventaris	
Aanwezigheid van infrastructuur die potentieel beschadigd kan worden ten gevolge van de aanwezigheid van de polluent en van de afbraakproducten, rekening houdend met de duurtijd van de behandeling/opvolging	Inventaris	
In het geval van oppompen en herinfiltratie van het opgepompte water		
Aanwezigheid van infrastructuur waarvan de stabiliteit bedreigd kan worden ten gevolge van grondwaterverlaging	Inventaris en stabiliteitsstudie indien de grondwaterverlaging groot is, m.n. groter dan de seizoensfluctuaties	

Aanwezigheid van infrastructuur waarvan verwacht wordt dat ze mogelijk bedreigd kunnen worden door de toeslagstoffen in het kader van de stimulatie	Inventaris van de infrastructuur waarvan verwacht wordt dat ze mogelijk bedreigd worden door oxiderende toeslagstoffen (metallishe buizen) of surfactanten (teerhoudende materialen)	
In het geval van biosparging		
Aanwezigheid van eventuele bovengrondse bedreigde receptoren voor geluid, geuren, stoom, … op de site of in de onmiddellijke omgeving	Inventaris	
Aanwezigheid van infrastructuur waarvan verwacht wordt dat ze mogelijk geïmpacteerd kunnen worden door een ophoging van de grondwatertafel	Inventaris van de potentieel bedreigde receptoren : wegen, parkings …	

	= parameters waarvan de meting of inschatting vereist is
	= parameter waarvan de meting of inschatting nuttig is

8. Beschrijving van een standaardinstallatie

Het type installatie dat nodig is voor het uitvoeren van een gestimuleerde natuurlijke afbraak hangt af van de manier waarop zuurstof wordt aangebracht (en andere elektron acceptoren) en andere additieven aan de verzadigde lagen van de bodem. Voor elk type installatie, kunnen volgende elementen besproken worden.

8.1 Passieve of actieve infiltratie

- Een installatie voor de voorbereiding en conditionering van de te injecteren oplossing met eventueel een stockage eenheid voor de additieven. Deze oplossing bestaat uit water verzadigd aan zuurstof, eventueel aangerijkt met waterstofperoxide, nutriënten, tensioactive agentia …
- Eén of verschillende infiltratieputten (of in sommige gevallen infiltratiedrains) stroomopwaarts gelokaliseerd of in de verontreinigingsvlek. De putten worden voorzien van filters die toelaten om de additieven toe te voegen over de volledige omvang van de vlek. De afstanden tussen de infiltratieputten worden berekend om ervoor te zorgen dat de toevoer aan additieven verzekerd wordt over het geheel van de te behandelen pluim.
- In het geval van injectie onder druk, wordt een pomp of een compressor aangebracht die voorzien is van een manometer een systeem voor de regeling van de drukken en de detectie van lekken.
- Een systeem om de infiltraties af te stellen die onder verschillende vormen kunnen voorkomen : elektrische sensoren (max niveau – min niveau) in de infiltratieputten aangesloten aan een elektrische doos om de pompen af te stellen, systemen met tijdsregelingen, sequentiële systemen die ervoor zorgen dat de werking verzekerd worden in opeenvolgende zones van infiltratie …
- Een toestel dat de geïnjecteerde debieten en volumes opmeet.

8.2 Infiltratie (actief of passief) met grondwateronttrekking en eventueel herinfiltratie

Bijkomend aan de bovenbeschreven installaties omvat de installatie :

- Een of meerdere pompputten (of drains) geplaatst in een grondwater stroomafwaartse positie van de pluim, tussen deze laatste en mogelijke receptoren. De filters dienen voldoende diep te worden geplaatst om de volledige omvang van de pluim te capteren. De afstanden en verbreidheid van de intercepterende putten dient te berekend te worden om de volledige pluim te intercepteren.
- Een pompeenheid om het water te intercepteren bestaat mogelijks uit: dompelpomp in de pompputten zelf, een vacuümpomp aangesloten aan één of meerdere putten, … Om geluidshinder te voorkomen dienen de bovengrondse pompdelen in een geïsoleerde omkasting te worden geplaatst (caissons, container, etc.)
- De regeleenheid van de pompinstallatie kan op verschillende wijzen: vlotters voor dompelpomp, elektrische sensoren (min/max peilen) in de putten, elektrische regeling op pompen, sensoren in de verschillende onderdelen van de waterzuivering, timersystemen, sequentiële regeling per pompzone, …
- Via een leidingsysteem wordt het verzamelde water doorgepompt naar een waterzuiveringseenheid. De leidingen, bij voorkeur ingegraven, worden uitgerust met terugslagkleppen en debietsmeters die toelaten om het onttrokken debiet en gecumuleerd volume per individuele put en per pomp op te volgen.
- Er dienen monsternamepunten voor het opgepompt grondwater te worden voorzien op niveau van de individuele put, van de aanvoerleidingen, aan de ingang van de waterzuiveringseenheid en bij het lozingsput (of ter hoogte van de infiltratie-eenheid).

- Een waterzuiveringseenheid voor het opgepompte grondwater.
- Een staalnamepunt (effluent) van het behandelde grondwater voor lozing of recirculatie.

N.B : er bestaat een aparte code van goede praktijk voor de zuivering van opgepompt grondwater (CGP AUX 1). In het geval van recirculatie van behandeld grondwater, wordt de voorkeur gegeven aan biologische behandeling. Hierdoor wordt het grondwater reeds aangerijkt met aangepaste micro-organismen.

8.3 Directe injectie onder druk van trage zuurstof afgevende stoffen

- Een installatie voor de aanmaak en de conditionering van de te injecteren gels (of grout); eventueel dient er een opslageenheid voor de additieven te worden voorzien.
- Een mobile machine die gridgewijs een gefilterde injectieconus induwt of inklopt, waarna de additieve oplossing onder druk over het gewenste dieptetraject wordt ingebracht. Het inbrengen kan eenmalig over het volledige dieptetraject gebeuren of sequentieel over deeltrajecten.
- De dichtheid van het injectie grid wordt bepaald aan de hand van een piloottest.

8.4 Het toevoegen van trage zuurstof afgevende stoffen via injectieputten

- De toepassing gebeurt via een netwerk van injectieputten, gelegen in de verontreinigingspluim of stroomopwaarts ten opzichte van de pluim. De filters van de injectieputten snijden de volledige diepte van de verontreinigingspluim (via individuele of via meerdere naast elkaar geplaatste putten). De trage zuurstof afgevende stoffen worden aangebracht in de putten onder de vorm van een gel, of in de vorm van een cilinder met een permeabele verpakking waarin poeder zit.
- De afstand tussen de injectieputten en de frequentie van de herhaling van het te injecteren materiaal worden bepaald op basis van de resultaten van de piloottest.

8.5 Biosparging

- Eén of meerdere injectieputten voor lucht in de verzadigde zone van de bodem en een installatie voor het onder druk brengen voorzien van manometers, debietmeters en temperatuursondes. De afstand tussen de putten, de druk en de injectiedebieten worden bepaald op basis van de resultaten van de pilootproef. In de literatuur wordt aangeraden dat de filters van injectieputten best niet langer dan 1 m zijn en dat deze minimaal 1,5 m onder de basis van de pluim geplaatst worden.
- Eén of meerder bodemluchtextractiefilters in de onverzadigde zone van de bodem. De afstand tussen de extractieputten worden zodanig geplaatst dat het totaalvolume aan vluchtige verbindingen dat door de injectie van lucht in het onverzadigde deel van de bodem terechtkomt onderschept wordt.
- Een onttrekkingssysteem voor bodemlucht : vacuümpomp, ventilator, …, verbonden aan één of meerdere onttrekkingsputten. Om de geluidshinder te verminderen moeten de pompen in een afgesloten ruimte geplaatst worden (omkasting, container,…).
- Een systeem om de injectie van lucht en het oppompen van bodemlucht te kunnen regelen, die onder verschillende vormen kan voorkomen: elektrische sensoren (max niveau – min niveau) in de peilbuizen die stijghoogte in de peilbuizen opvolgt, sensoren gelinkt aan de manometers die aanwezig zijn op verschillende onderdelen van de installatie, sensoren in verschillende delen van de zuiveringsinstallatie, aangesloten aan de elektriciteitskast voor

de regeling van de pompen, timers, sequentiële systemen die ervoor zorgen dat verschillende onttrekkingszones achtereenvolgens worden aangezet,…

- Collector- een aanvoerbuizen voor gas tussen de pompen en de onttrekkingsputten en naar de zuiveringsinstallatie. De leidingen liggen bij voorkeur ondergronds en worden voorzien van terugslagkleppen. Tijdens de plaatsing moet er op gelet worden dat er geen condenswater kan accumuleren in de leidingen. Daarnaast worden ook debietsmeters voorzien om zowel het momentane debiet als het cumulatieve volume op te volgen, ofwel per individuele onttrekkingsput ofwel ter hoogte van de pompen. Manometers worden geïnstalleerd ter hoogte van de onttrekkingspompen, de putten en op verschillende plaatsen in de installatie om zo de efficiëntie van de pompen op te volgen en lekken te kunnen opsporen. Eén of meerdere explosiemeters worden voorzien voordat de bodemlucht in de pompen komt. Voordat de bodemlucht in de pompen komt, stroomt de lucht door een druppelvanger waarin het condensaat afgescheiden wordt en door een deeltjesfilter.
- Een zuiveringsinstallatie voor bodemlucht ;
- Er dienen ook staalnamepunten aangebracht te worden in de installatie voor het nemen van bodemluchtstalen ter hoogte van de verschillende individuele putten of de verschillende pompen en ook ter hoogte van de zuiveringsinstallatie om stalen te kunnen nemen van het gezuiverde gas voordat het in de atmosfeer terechtkomt. De installatie wordt eveneens voorzien van een regelysteem met een alarm en een automatische noodstop in geval van panne of slecht functioneren
- Een opvolging van het systeem.

8.6 Gestimuleerde natuurlijke afbraak door opwarming van de bodem (door injectie van stoom)

Bovenop de infrastructuur gelinkt aan de zuurstoftoevoer (of andere elektron acceptoren) en van nutriënten in het verzadigde of onverzadigde deel van de bodem:

- Een installatie voor de aanmaak van stoom die geïnjecteerd wordt in de verzadigde en/of onverzadigde lagen van de bodem.
- Een netwerk van injectieputten vastgelegd volgens een welbepaald grid. De debieten van stoominjectie en de afstand tussen de individuele putten worden bepaald op basis van de resultaten van de piloottest(en). De injectieputten worden voorzien van sondes die toelaten om de temperatuur op te meten van het geïnjecteerd stoom, van debietmeters en manometers.

De installatie voor de opvolging van de behandeling bevat onder andere temperatuursondes ter hoogte van de controlepunten in het grondwater en van eventuele extractieputten.

Algemene opmerking :

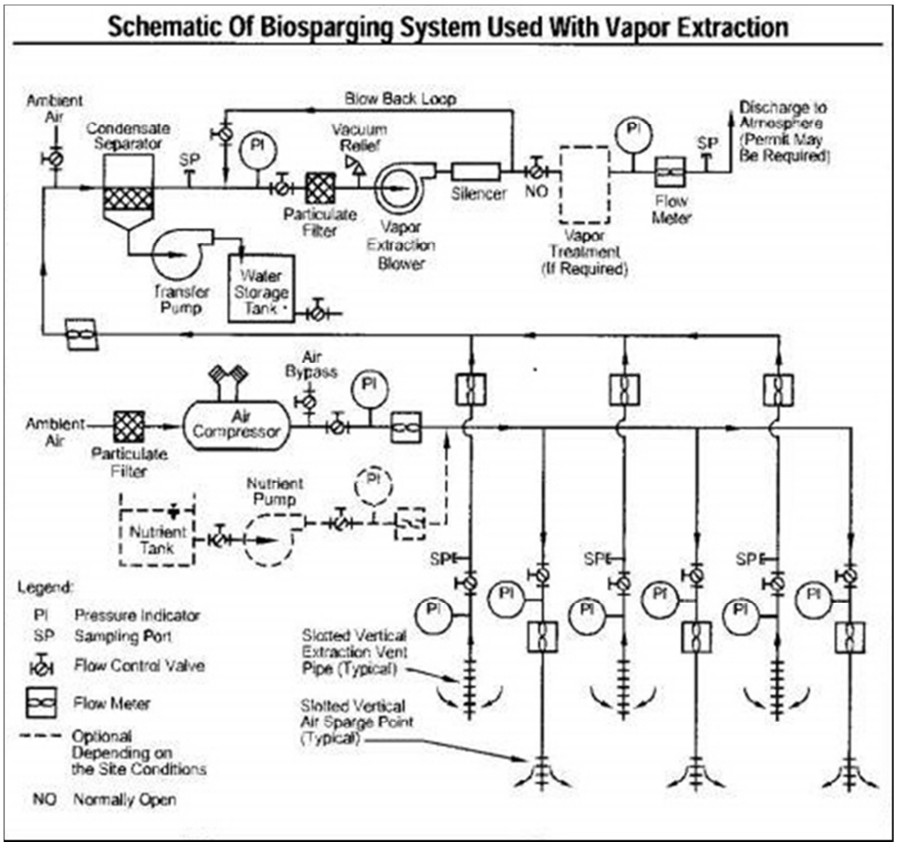
Voor de installatie worden standaardmaterialen gebruikt : putten, pompen, debietsmeters, LEL-sensoren, manometers, actief kool filters,… . De materialen zijn beschikbaar op de markt in verschillende afmetingen en kwaliteiten. Er zijn dus geen speciale afmetingen of modules nodig die door de aannemer moeten voorzien worden. Er moet geen rekening gehouden worden met beperkingen voor de dimensionering van het materiaal tijdens de opmaak van het saneringsvoorstel, het risicobeheersvoorstel en bestekken.

Echter, voor de directie injectie zijn de beschikbare materialen beschikbaar voor reeds vastgelegde dimensies: diameter van de putten, lengte van de individuele elementen, injectiepompen (druk en debiet),… De maximale injectiediepte, die technisch en financieel

haalbaar is hangt af van het type bodem: aanwezigheid harde elementen of lagen, dense lagen, … In onsamenhangende bodems, op meer dan 25 m diepte, wordt de technische haalbaarheid van de techniek onvoorspelbaar.

8.7 Conceptueel schema

De installatie zal beschreven worden door de deskundige met behulp een technisch schema van een vergelijkbaar type aan diegene die voorgesteld wordt in Figuur 3 voor biosparging.



Figuur 3: Technisch schema van een installatie van gestimuleerde natuurlijke afbraak door biosparging (Bron : USEPA, 1995, 510-D-95-007, How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites: A Guide For Corrective Action Plan Reviewers)

9. Beschrijving van een installatietype

Het voorstel zal de volledige beschrijving weergeven van het voorafgaandelijke haalbaarheidsonderzoek.

Zullen duidelijk gedefinieerd worden :

- Geraamde duurtijd van de gestimuleerde natuurlijke afbraak tot dat de doelstellingen bereikt zullen zijn.
- Vergelijking van de duurtijd ervan met de duurtijd van meer actieve varianten.
- De kans dat de natuurlijke afbraak doorgaat volgens de voorziene snelheid of, omgekeerd, de kans dat er in de toekomst nadelige effecten zouden optreden die een negatieve invloed zouden hebben op de efficiëntie van de natuurlijke afbraak : bijvoorbeeld een opstapeling van intermediaire producten (stagnatie), verstopping van de bodem door metaaloxiden en door de bacteriën, verzuring van de bodem…
- De betrouwbaarheid en de graad van volledigheid van de bekomen gegevens alsook de mate waarin men de fenomenen begrijpt die geleid hebben tot de huidige situatie ;
- De betrouwbaarheid van de voorspellingen en de simulaties die werden gedaan voor de verspreiding van de verontreinigende stoffen en de pluim enerzijds en de efficiëntie van de natuurlijke afbraak anderzijds, op basis van de bekomen gegevens. Zijn deze volledig of op zijn minst voldoende ?

Het voorstel zal tevens een beschrijving omvatten van één of meerdere relevante behandelingsvarianten die gebruikt zullen kunnen in het geval de gestimuleerde natuurlijke afbraak zou falen.

De installatie die voorzien zal worden in het kader van de sanering of het risicobeheer zal uitvoerig beschreven worden waarbij, ten minste, volgende elementen in zullen opgenomen worden (zie **Tabel 5**).

Tabel 5 : Gegevens die dienen te worden aangeleverd voor een te plaatsen installatie

Onderdeel van de installatie	Element	Gegevens over de installatie	Opmerkingen
Aanvoer zuurstof (of andere elektron acceptoren) + andere additieven	Type aanvoer	Stoffen die traag zuurstof kunnen afgeven, waterstofperoxide, zuiver zuurstof, lucht, … Samenstelling, gehalte aan O_2 , fysieke toestand (poeder, gel,) …	
	Andere additieven	Types additieven : nutriënten, pH regelaar, tensioactieve agentia, ent of consortium van micro-organismen … concentraties in de aanvoer oplossing	
	Installatie om de oplossing in voor te bereiden	ligging en omschrijving	
Toedienings-methode in de verzadigde laag	Passieve of actieve infiltratie	Ligging en tussenafstand van de verschillende putten, diepte van de slibvang en filter, diameter en type stijgbuis, filterlengte en diameter van de filteropeningen, type en positie van het filtermassief, type en diepte van de afsluitende stoppen (bentoniet), type van het puthoofd (afsluitend als er onder druk wordt geïnjecteerd), bescherming van het puthoofd (toegangsput, straatpot of koker). Plaats van de manometer, debietsmeter. Infiltratiedebieten. Infiltratiedruk. .	
	Infiltratie + grondwateronttrekking + eventuele recirculatie	Ligging en tussenafstand van de verschillende putten, diepte van de slibvang en filter, diameter en type stijgbuis, filterlengte en diameter van de filteropeningen, type en positie van het filtermassief, type en diepte van de afsluitende stoppen (bentoniet), type van het puthoofd (afsluitend als er onder druk wordt geïnjecteerd), bescherming van het puthoofd (toegangsput, straatpot of koker). Plaats van de manometer, debietsmeter. Infiltratiedebieten. Infiltratiedruk.	
	Aanvoer van stoffen met trage vrijgave in de injectieputten	Ligging en tussenafstand van de verschillende putten, diepte van de slibvang en filter, diameter en type stijgbuis, filterlengte en diameter van de filteropeningen, type en positie van het filtermassief, type en diepte van de afsluitende stoppen (bentoniet), type van het puthoofd (afsluitend als er onder druk wordt geïnjecteerd), bescherming van het puthoofd (toegangsput, metalen afsluitbare koker ...). Toedieningsmethode van de stoffen : gel, grout, poeder met permeabele verpakking. Voorziene herhalingsfrequentie.	
	Directe injectie	Ligging en tussenafstand van de verschillende injectiepunten, diepte van de injectie, beschrijving van het materieel (verbuizing, filters,...), wijze van injectie (eenmaling/sequentieel). Druk en debiet van de injectie. Injectiehoeveelheid per punt. Herhalingsfrequentie.	
	Biosparging	Ligging en tussenafstand van de verschillende infiltratie- en extractieputten voor gas. Voor alle putten : diepte van de blinde buizen en filters, diameter van en type buizen, afmetingen van de openingen van de filter, type en positie van het filtermassief, type en diepte van de afsluitende stoppen (bentoniet), type van het puthoofd (afsluitend als er onder druk wordt geïnjecteerd), bescherming van het puthoofd (toegangsput, straatpot of afsluitbare stalen koker). Debieten en injectiedruk. Debieten en druk in de extractieputten. Continu of intermitterend.	
	Vermenging met de bodem	Beschrijving van het mengsysteem (avegaar, …,) diameter, diepte, toegevoerde hoeveelheden per m^3 bodem,	
Pompen	Pompen voor actieve infiltratie, directe injectie, pompen voor de recirculatie, de extractie van de gassen, de biosparging	Types en ligging van de pompen : vacuümpompen, compressoren, … aansluiting aan 1 of meerdere putten, lucht/water afscheider, filters voor kleine partikels. Niveau van de toegepaste drukken en drukverminderingen. Continu of intermitterend.	Het vermogen van de pompen moet berekend worden ten aanzien van de injectie/extractie debieten weerhouden in functie van de gewenste duurtijd van de behandeling en de (onder)drukken die op realistische wijzen toegepast kunnen worden.
Regelsysteem	Inregeling van de behandeling	Pompinstallatie werkt continu of in periodes, simultaan of sequentieel pompen van de verschillende onderdelen van de installatie, referentiepunten voor inschakelen of uitschakelen naargelang het niveau van het grondwater en de gemeten drukken	
Nagestreefd doel	Behandeling van de verzadigde zone	Duurzame te behalen doelstellingen in het grondwater en eventueel in de bodem, actuele verbreiding X, Y en Z van de verontreiniging. Vooropgestelde duur.	
Variante opwarming van de bodem	Injectie van stoom	Ligging en beschrijving van de injectiepunten (diameters, dieptes, afstanden …). Temperaturen van het geïnjecteerde stoom. Debieten en injectiedrukken.	
Opvang van opgepompte vloeistoffen	Aanvoerleidingen van opgepompt gas en/of water	Type, afmetingen en installaties van de aanvoerleidingen, buffervat, anti-vries installatie, anti-vandalisme installatie en controle explosiegevaar. Situering en installatie voor controlemonsters. Situering debietmeters, manometers en temperatuursondes.	
Zuiveringsstation	Deze rubriek maakt onderdeel uit van een andere Code		
Lozingsnormen	Condensaat en gezuiverd water	De kwaliteitsnormen voor lozing van (gezuiverd) grondwater in de openbare riool of in oppervlaktewater komen overeen met de saneringsnormen van het BBHR van 29/03/2018 (interventienormen en saneringsnormen)	Idem voor herinjectie in de bodem, hoewel hiervoor geen wettelijke of administratieve bepalingen zijn.
	Puur product (afgescheiden)	Afhankelijk van het type product en de wetgeving: afval, gevaarlijk afval, energie-recuperatie	
	gezuiverde gassen	Volgens de code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'	
Geluidsnormen	Geluidsmaatregelen	Type van maatregel : Anti-cavitatie maatregelen van de pompen, geluidsisolatie van de pompen, ….	
	Geurmaatregelen	Eventueel in geval van vluchtige componenten (aceton, aromaten)	

10. Bijzondere veiligheidsmaatregelen en beperking van hinder : geur, lawaai, stof…

10.1 Aandachtspunten

In functie van het huidige en toekomstige gebruik van de site en diens directe omgeving, dient met volgende punten rekening gehouden te worden:

- Risico's gelinkt aan de eventuele toxische/gevaarlijke additieven die gebruikt worden (peroxydes, ….) ;
- Eventuele negatieve evolutie van de luchtkwaliteit ter hoogte van de werf en de onmiddellijke omgeving : gehaltes aan toxische gassen, geur, stof, … ;
- ontploffingsrisico's
- Geluidshinder
- Risico's voor naburige grondwaterwinningen

10.2 Risico's gelinkt aan de gevaarlijke aard of toxiciteit van de gebruikte additieven

De risico's waarmee rekening dient te worden gehouden komen voort uit de stockage, de behandeling en het gebruikt van de gevaarlijke en/of toxische verbindingen. De evaluatie van de risico's dient reeds te gebeuren in de opmaak van het voorstel, of voor de werken indien deze geen voorstel vereisen.

Conform de Europese regelgeving REACH dienen de fysische eigenschappen, de toxicologische gegevens, de ecotoxicologische gegevens en risico's gelinkt aan opslag en gebruik alsook de te nemen voorzorgsmaatregelen (ook bij ongeval) door de fabrikant te worden neergeschreven in de MSDS (Material Safety Data Sheets).

Aanvullend geven de veiligheidsvoorschriften op de verpakking ook de nodige informatie over de mogelijk gevaarlijke stoffen aanwezig op de werf.

De nodige specifieke maatregelen te nemen op de werf dienen in het saneringsvoorstel of het risicobeheersvoorstel reeds te worden beschreven, of in het rapport na de werken indien deze geen voorstel vereisten. Deze maatregelen kunnen o.a. gaan over :

- De opslag en manipulatie van gevaarlijke en toxische stoffen : risico op verspreiding, lekken, ….
- De verwerking van stoffen die de site verlaten.
- Blootstellingsrisico's van personen: inhalatie, dermaal contact,…
- Beschermingsmaatregelen voor personen: PBM (persoonlijke beschermingsmaatregen), omgevingsmetingen, …
- Informatie en vorming van de personen die op site werken

10.3 Hinder voor de luchtkwaliteit : in geval van behandeling door biosparging bij aanwezigheid van vluchtige verontreinigende stoffen

De onttrokken gassen uit de bodem hebben in geval van behandeling door biosparging de neiging om zich te verspreiden in het geval dat de installatie voor inzameling en transport naar een zuiveringsinstallatie niet luchtdicht is.

Om te voorkomen dat schadelijke of geurende dampen zich naar de receptoren verspreiden, aanwezig op de site of omgeving, dient het afdichtingen van de installatie, in het bijzonder, aandacht te krijgen.

Zoals vermeld in het hoofdstuk over de opvolging van de activiteiten, wordt controle gedaan naar de kwaliteit van de lucht in de nabijheid van de zuiveringsinstallatie bij de opstart van de installaties en nadien, om de twee weken, indien er risicogroepen aanwezig zijn in de nabijheid (woonzones, scholen, …). In het geval van herhaalde klachten van de omwonende betreffende de aanwezigheid voor geur als gevolg van de behandeling, wordt een meetcampagne uitgevoerd om de luchtkwaliteit na te gaan.

De lozing van onttrokken gassen na behandeling moeten periodiek gecontroleerd worden.

Stofemissies zijn weinig waarschijnlijk bij een installatie voor biosparging.

10.4 Explosiegevaar

De injectie van zuurstof en het gebruik van waterstofperoxide kunnen verantwoordelijk zijn voor het creëren van condities waarbij risico's ontstaan voor ontvlamming in geval er ontvlambare voorwerpen aanwezig zijn in de bodem: infrastructuur in plastiek, hout, teerhoudende materialen, kooldeeltjes in de ophooglaag …

Het oppompen van bodemlucht met vluchtige componenten (in combinatie met biosparging) kan risico's voor explosiegevaar met zich meebrengen ter hoogte van de onttrekkingsinstallatie en zuiveringsinstallatie van de opgepompte bodemlucht. Explosiemeters moeten dus geplaatst worden op verschillende plaatsen: ter hoogte van de kanalisatie van de collector van onttrokken gassen voor doorgang aan de pompen, ter hoogte van de zuiveringsinstallatie … Deze explosiemeters moeten gelinkt zijn aan een alarmsysteem, een automatische inlaat van zuurstof en indien nodig de stopzetting van de werking bij een overschrijding van de LEL-waarde (Lower Explosieve Limit) met 10%.

Gezien het uitvoeren van een behandeling via biosparging in geval van aanwezigheid van vluchtige bestanddelen zonder dit te koppelen aan een systeem van bodemluchtextractie in het onverzadigde deel van de bodem in het Brussels Gewest bij voorbaat verboden is, is er geen aanleiding om aan te nemen dat er risico's zullen optreden voor explosiegevaar in potentiële zones van gas opstapeling in de bodem : kelders, holtes,….

10.5. Toegenomen risico voor verspreiding van de verontreinigende stoffen

Risico's op ongecontroleerde verspreiding van de opgeloste verontreinigende stoffen richting gevoelige receptoren kunnen het gevolg zijn van het gebruik van tensioactieve agentia en de infiltratie van oplossingen, gezuiverd water en lucht in de bodem waardoor de hydraulische gradiënt toeneemt van aan de injectieputten.

In geval van toevoeging van tensioactieve agentia, dienen de risico's voor het oplossen van teerhoudende omhulsels ook in beschouwing te worden genomen....

10.6. Geluidshinder

Het geluidsoverlast voor bewoners rondom de site kan het gevolg zijn van de werking van de pompen en van de generator in de zones die niet aangesloten zijn aan het netwerk.

Maatgelegen moeten getroffen worden op de hinder te beperken:

- Het plaatsen van de installaties om een behoorlijke afstand van woonzones
- Het afregelen van de debieten om cavitatie van de pompen de voorkomen
- Het plaatsten van de luidruchtige installaties in goed geïsoleerde kisten/containers
- Afregelen van de werkuren van de installatie, in het geval van een intermitterende werking, om geluidsoverlast gedurende de nacht te voorkomen

10.7. Risico's voor naburige grondwaterwinningen

Grondwaterwinningen die gebruikt worden voor de publieke distributie van drinkwater voor menselijk gebruik dienen beschouwd te worden als prioritaire receptoren. Andere grondwaterwinningen met privé-doelstellingen moeten ook in beschouwing genomen worden indien ze getroffen kunnen worden door behandeling door middel van pompen.

Deze installaties kunnen bedreigd worden ten gevolge van een onvoldoende snelle afbraak van de verontreinigende stoffen (en intermediaire producten), ten opzichte van de verspreidingssnelheid van deze verbindingen richting de winningen. Er dient ook rekening te worden gehouden met het mogelijke risico op verspreiding van de tensioactieve agentia buiten de interventiezone.

Het nagaan van de kwaliteit van het grondwater stroomafwaarts van de interventiezone dient bijgevolg zeker uitgevoerd te worden.

10.8. Conformiteit met bestaande wettelijke kaders

Met betrekking tot atmosferische hinder, werden de normen voor emissie van gas in de atmosfeer meegegeven in de code van goede praktijk 'Lozingsnormen in het kader van saneringswerken en risicobeheerswerken'.

De normen betreffende de kwaliteit van de lucht bij immissie in de buitenlucht die gehandhaafd worden om de ernst te bepalen van een verontreiniging, voortvloeiend uit het opstarten van een pomp- en grondwaterzuiveringsinstallatie zijn niet beschikbaar voor de Regio Brussel Hoofdstad. Voor een eerste benadering worden de gemeten gehalten aan vluchtige verontreinigende stoffen vergeleken met de waarden die beschikbaar zijn op het S-RISK platvorm © (Substance data sheets, https://s-risk/be/documents. In geval van overschrijding hiervan, dringt zich een nazicht op van de dichtingscapaciteit van de installaties. In de zones die onderworpen zijn aan een verhoogd niveau van naburige atmosferische vervuiling (wegen met druk verkeer, industriële zones, …) zal een verificatieproces opgestart worden indien het niveau van de luchtverontreiniging in de omgeving van de installaties het naburige niveau van verontreiniging overschrijdt gedurende een periode van 24 u.

Wat betreft het waarnemen van geuren, bestaat er geen wettelijk kader dat van kracht is voor de verschillende verbindingen in de Regio Brussel Hoofdstad. Een nazicht van de dichtingscapaciteit van de installaties zal noodzakelijk zijn wanneer er zich herhaalde klachten van inwoners voordoen.

Als het gaat om geluidshinder, wordt het niveau van toelaatbaar geluid dat veroorzaakt wordt door werven die de waterlaag behandelen door pompen gereglementeerd door de Richtlijn van 17.07.1997 en het gerelateerde uitvoeringsbesluit van 24 november 2002 met betrekking tot de strijd tegen het geluid en de trillingen van opgelijste installaties. In de zones waar een verhoogd naburig geluidsniveau heerst (wegen, actieve industriële zones) volstaat het om het gemeten niveau van de impact van de installaties te vergelijken met het niveau van naburig geluid.

Het toevoegen van nutriënten in de onverzadigde zone en de uitloging ervan mag geen aanleiding geven tot nitraatgehaltes in het grondwater die hoger zijn dan de interventienormen opgenomen in het BBHG van 29/03/2018 die de interventie- en saneringsnormen vastlegt.

De opgelegde aanbevelingen in de eventuele milieuvergunning moeten ook gerespecteerd worden.

11.Opvolgingsmaatregelen

11.1 Basisregels voor de opvolgingsmaatregelen

De onderzoeksdaden die uitgevoerd dienen te worden in het kader van de opvolging van de natuurlijke afbraak moeten een duidelijk en actueel beeld kunnen geven van de stand van zaken van de verontreiniging in de bodem en van de geochemische en hydrogeologische parameters van de bodem.

Meer concreet moet het opvolgingsprogramma aan volgende doelstellingen voldoen :

- Aantonen dat gestimuleerde natuurlijke afbraak gebeurt zoals werd voorzien
- Identificatie van alle eventuele intermediaire afbraakproducten die gevormd worden
- Controle van de eventuele uitbreiding van de pluim
- Nagaan of geen enkele receptor bedreigd wordt
- Alle veranderingen in de condities van de bodem opvolgen die een negatieve invloed kunnen hebben op de efficiëntie van de natuurlijke afbraak
- De evolutie van de concentraties opvolgen en eventueel nagaan of de doestellingen werden behaald

Het opvolgingsprogramma moet opgesteld worden naargelang de site die opgevolgd dient te worden (gebaseerd op het conceptueel site model dat werd opgesteld voor de verontreinigingspluim) en moet een plan bevatten van de bemonsteringen en metingen die periodiek dienen te worden uitgevoerd voor bodem en/of grondwater.

Het meet- en bemonsteringsplan bij de opstart van de opvolging moet minimaal volgende elementen bevatten :

- De duurtijd van de opvolging
- De frequentie van de meet- en bemonsteringscampagnes
- De locatie van de meetpunten en de bemonsteringspunten
- De manier van bemonstering en de parameters die opgevolgd/opgemeten en geanalyseerd zullen worden

11.2. Opvolgingsmaatregelen : standaardopstelling

11.2.1 Algemeen

De opvolging van een verontreinigingsvlek berust op het plaatsen, het opvolgen en bemonsteren van een aantal peilbuizen in en rond de verontreinigde zone. Zulke opstelling heeft als doel om na te gaan of de verontreiniging (kern + pluim) voor wat concentraties en volume betreft al dan niet wijzigt en om na te gaan of de pluim zich niet verder verspreid dan de toegelaten grenzen. De peilbuizen moeten minimaal op volgende plaatsen voorzien worden :

- Stroomopwaarts van de kern van de verontreiniging en buiten de verontreinigingsvlek, langs de stromingsas van de grondwaterstromingsrichting (en de verontreinigngspluim). Doel : de kwaliteit opvolgen van het instromende grondwater en nagaan of er wijzigingen optreden in de fysico-chemische parameters die een invloed kunnen hebben op het proces van de natuurlijke afbraak.
- Ter hoogte van de kern van de verontreiniging. Doel : nagaan of er geen bijkomende verontreiniging ontstaat die een invloed kan hebben op het verloop van de natuurlijke afbraak en opvolging van de ernst van de verontreiniging in de kern (en eventueel van de bron die mogelijk nog aanwezig is) in functie van de tijd. Het aantal peilbuizen die

voorzien moeten worden hangt af van de omvang van de kern, maar moet er op gericht zijn om een voldoende goed beeld te kunnen krijgen van de evolutie ervan.

- Stroomafwaarts van de kern, in de richting van de voornaamste verspreidingsas, zowel in de aërobe als in de anaërobe delen van het grondwater, zodat de wijzigingen in concentraties en in fysico-chemische eigenschappen in de pluim opgevolgd kunnen worden. Het aantal opmetingspunten en de frequentie van het aantal bemonsteringen hangen af van de grootte van de pluim maar moet voldoende zijn om (door modelering) de evolutie van de pluim te kunnen voorspellen.
- Stroomafwaarts van de verontreinigingspluim, waar nog geen verontreiniging wordt waargenomen maar waar de concentraties aan elektron acceptoren al minder hoog zijn in vergelijking met de nog niet beïnvloedde zones van de grondwatertafel. Deze peilbuizen geven een indicatie van de mogelijke evolutie van de verontreinigingspluim.

- Ter hoogte van de controlepunten en stroomafwaarts van de verontreinigingspluim, ter hoogte van de perceelsgrenzen of in de richting van potentieel bedreigde receptoren. Deze opmetingspunten moeten toelaten om snel genoeg de beslissing te kunnen nemen om via alternatieven de verontreiniging aan te pakken voordat ze de perceelsgrenzen of potentieel bedreigde receptoren bereikt.
- Aan de zijkanten van de pluim om de evolutie loodrecht op de verspreidingsas te kunnen opvolgen.

Een voorbeeld van een standaardopstelling voor de opvolging wordt weergegeven in **Figure 4**.

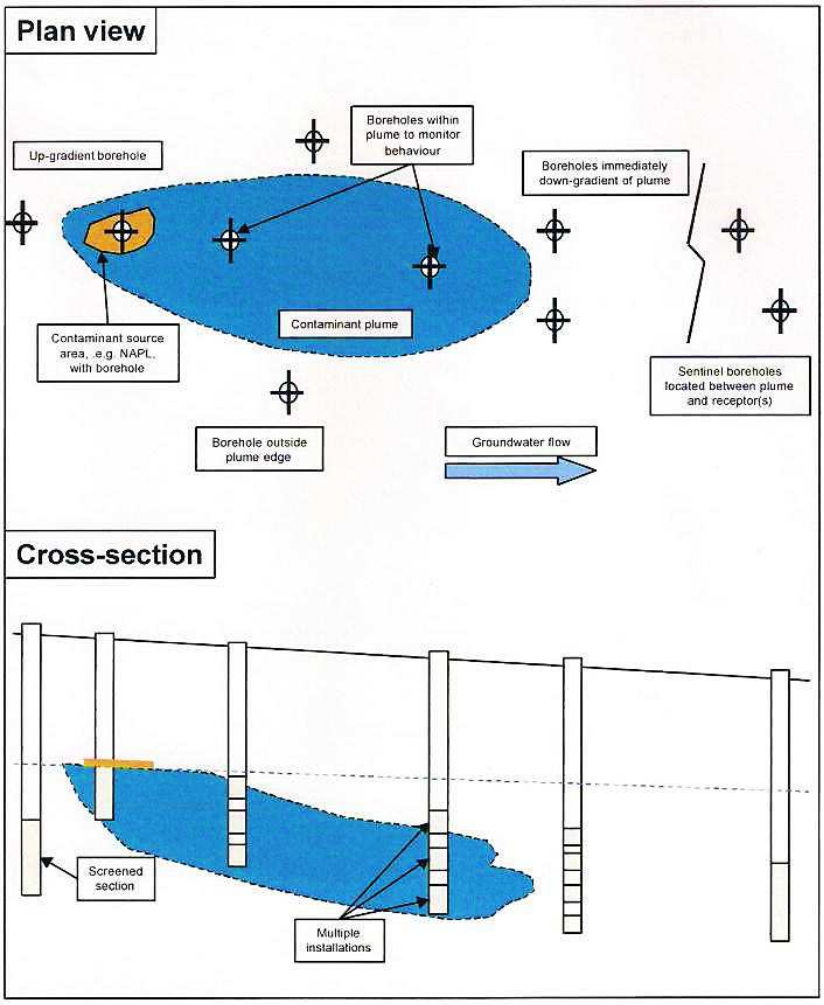
Ter hoogte van de verschillende bemonsteringspunten, en zeker ter hoogte van de verontreingingspluim, is het aangeraden om verschillende peilbuizen te plaatsen (in hetzelfde boorgat of in nabijgelegen boorgaten) om filters op verschillende dieptes te plaatsen. Deze aanbeveling is voornamelijk aan te raden in volgende gevallen :

- Aanwezigheid van verontreinigende stoffen met een hogere densiteit dan water (teer, VOCl, …)
- Significante variaties van de stijghoogtes in de peilbuizen
- Aanwezigheid van een pomp- of (diepe) drainage installatie die een lokale daling van de grondwaterstijghoogtes in de peilbuizen kunnen veroorzaken.
- Een aanzienlijke gelaagdheid van de verontreiniging (oliën)

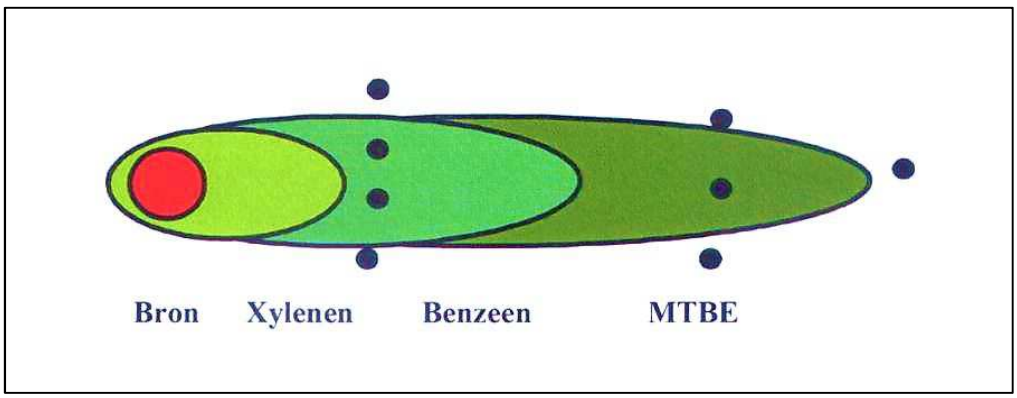
Het is bovendien aangeraden om de filter te plaatsen in de lagen van de grondwatertafel die gekenmerkt worden door de hoogste hydraulische conductiviteit zodat er geen onderschatting wordt gedaan van de mogelijke risico's op verspreiding van de verontreiniging.

In het opmetings- en bemonsteringsplan dient door de deskundige bijzonder veel aandacht besteed te worden aan de site specifieke eigenschappen. Voor de correcte plaatsing van de peilbuizen in de richting de bewegingsas van het grondwater, is het in het algemeen voldoende om rekening te houden met de concentraties van de verontreiniging en de gemeten waarden van de geochemische indicatoren. Voor grote verontreinigingspluimen en in heterogene bodem, kan de deskundige gebruik maken van tracers (Bromide, jodide, boraat, ….). Om zeker te zijn dat de verspreidingsas van de verontreiniging goed wordt bepaald, is het aangeraden om de controlepeilbuizen op lijnen te plaatsen die loodrecht staan op de stromingsas, zoals aangeduid in **Figure 5**.

Figuur 4 : Schema van een standaardopstelling voor de opvolgingsmaatregelen *(Uittreksel uit « Guidance on the Assessment and Monitoring of Natural Attenuation of Contaminants in groundwater » M.A. Carey et al., June 2000)*



Figuur 5 : Positionering van de controlepeilbuizen volgens transversale assen (Uittreksel van de *OVAM 2003, Code van Goede praktijk - Natuurlijke afbraak*)



Het is ook aangeraden om de controlepeilbuizen te plaatsen volgens de stromingsas van het grondwater, in de buurt van de raakvlakken tussen verschillende milieus.

De densiteit van het aantal meetpunten moet aangepast worden naargelang de complexiteit en de heterogeniteit van de bodemsamenstelling. Het aantal meetpunten dient tevens voldoende te zijn om indien nodig een statistische analyse (trendanalyse) uit te voeren voor de meest kritische parameters.

In het geval van extreem complexe situaties (zeer heterogene bodems) kunnen de peilbuizen vervangen worden door sleuven ter hoogte van de pluim.

11.2.2. Stimulatie door injectie (actief of passief) van additieven in de grondwatertafel

Aanvullend aan de elementen zoals hierboven beschreven voor de algemene regel, dienen de opvolgingsmaatregelen te voldoen aan :

- Een peilbuizen netwerk gericht om de stijghoogtes en de grondwaterparameters in de loop van de behandeling op te volgen: in de verontreinigingsvlek en zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts ervan ;
- Het peilbuizen netwerk moet toelaten om de doeltreffendheid van de verdeling van additieven op te volgen in de verzadigde lagen van de bodem : O_2 (en andere elektron acceptoren), nutriënten, tensioactieve agentia … om de techniek van injectie en de densiteit van het peilbuizen netwerk te kunnen valideren ;
- Een systeem van debietsmeters die toelaten om het onttrokken debiet en gecumuleerd volume per individuele put en per pomp op te volgen.
- Een systeem om de infiltratiedrukken van de additieven op te volgen (in geval van actieve infiltratie).

11.2.3. Passieve of actieve infiltratie met grondwateronttrekking + eventuele recirculatie

Aanvullend aan de elementen zoals hierboven beschreven voor de algemene regel, dienen de opvolgingsmaatregelen te voldoen :

- Een peilbuizen netwerk gericht om de stijghoogtes en de grondwaterparameters in de loop van de behandeling op te volgen: in de verontreinigingsvlek en zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts ervan ;
- Het peilbuizen netwerk moet toelaten om de doeltreffendheid van de verdeling van additieven op te volgen in de verzadigde lagen van de bodem : O_2 (en andere elektron acceptoren), nutriënten, tensioactieve agentia … om de techniek van injectie en de densiteit van het peilbuizen netwerk te kunnen valideren ;
- Een systeem van debietsmeters die toelaten om het debiet en gecumuleerd volume van de injecties/infiltraties op te volgen ;
- Een systeem om de infiltratiedrukken van de additieven op te volgen (in geval van actieve infiltratie) ;
- Een systeem van debietsmeters die toelaten om het onttrokken debiet en gecumuleerd volume per individuele put en per groep van putten (indien verbonden aan dezelfde pomp) ;
- De kwaliteit van het opgepompte, gezuiverde, geloosd of geherinjecteerd water wordt opgevolgd ter hoogte van de individuele putten of groepen van putten (indien verbonden aan dezelfde pomp), aan het influent van de zuiveringsinstallatie en aan het effluent ervan.

11.2.4. Rechtstreekse injectie

Aanvullend aan de elementen zoals hierboven beschreven voor de algemene regel, dienen de opvolgingsmaatregelen te voldoen :

- De debieten en de volumes van de geïnjecteerde additieven in elk punt van de injecties zullen opgemeten kunnen worden ;
- Het peilbuizen netwerk moet toelaten om de doeltreffendheid van de verdeling van additieven op te volgen in de verzadigde lagen van de bodem : O_2 (en andere elektron acceptoren), nutriënten, tensioactieve agentia … om de techniek van injectie en de densiteit van het peilbuizen netwerk te kunnen valideren alsook de eventuele noodzakelijke herhalingen van de toevoegingen.

11.2.5. Toevoegen van trage zuurstof afgevende stoffen (injectieputten)

Aanvullend aan de elementen zoals hierboven beschreven voor de algemene regel, dienen de opvolgingsmaatregelen te voldoen :

- Het peilbuizen netwerk moet toelaten om de doeltreffendheid van de verdeling van O_2 op te volgen in de verzadigde lagen van de bodem om de techniek van injectie en de densiteit van het peilbuizen netwerk te kunnen valideren alsook de eventuele noodzakelijke herhalingen van de toevoegingen ;

11.2.6. Injectie van lucht in de verzadigde zone (biosparging) + extractie van gas in de onverzadigde zone

Aanvullend aan de elementen zoals hierboven beschreven voor de algemene regel, dienen de opvolgingsmaatregelen te voldoen :

- De injectieputten zullen voorzien worden met debietmeters die de debieten en gecumuleerde volumes van het geïnjecteerde lucht meten alsook met manometers die de druk van de injectie weergeeft en thermometers.
- In de nabijheid van de injectieputten, zullen controleputten voorzien worden van manometers en van sondes voor de bemonstering/analyse van gas wat mogelijk maakt om de evolutie van de druk en de concentraties aan O_2 op te volgen op korte afstand van de injectieputten;
- Een netwerk van controlepunten verdeeld over de betrokken zone zal toelaten om de evolutie van volgende parameters op te volgen: druk, concentraties aan gas in de bodem en eventueel de temperatuur. In het geval van een verontreinigingsvlek met een grote omvang, moeten deze controlepunten toelaten om de parameters op de volgen op verschillende dieptes. Het aantal, de densiteit en de ligging van de controlepunten dienen door de deskundige te worden voorgesteld.

  Een voorbeeld van een observatiepunt is opgenomen in **Figuur 6**.

  Peilbuizen die hermetisch afgesloten zijn en gelegen zijn in de nabijheid van de extractie- en injectieputten, zullen toelaten om veranderingen in de stijghoogte van het grondwateroppervlak te controleren.

- Een instrument dat toelaat om de debieten van de onttrokken gassen op te meten zal voorzien worden. Deze metingen zullen vergezeld worden met metingen van de

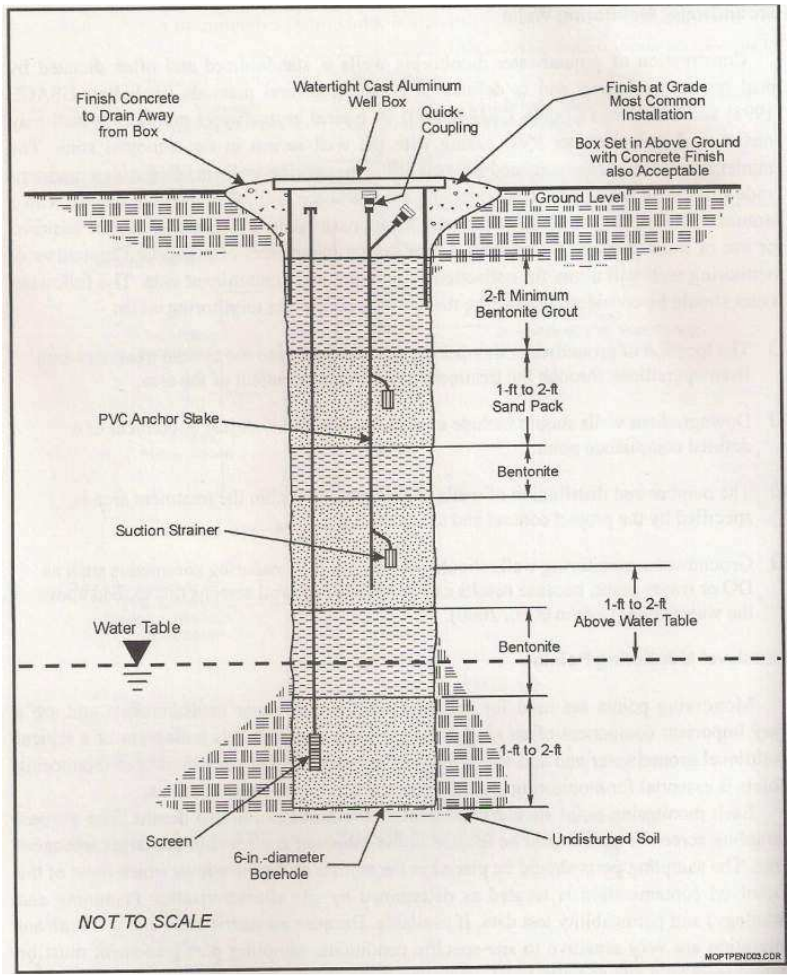
parameters druk en temperatuur zodat de resultaten zullen kunnen omgerekend worden (normale druk en temperatuur).

- Een systeem voor het bemonstering het onttrokken gas in elk van de extractieputten (of groep van putten) moet toelaten de hoeveelheden van onttrokken verontreinigende stoffen op te meten.
- Een systeem voor de bemonstering van het gezuiverde gas zal voorzien worden voor lozing in de atmosfeer
- Een systeem voor de bemonstering van het condensaat zal ook voorzien worden vooraleer deze behandeld wordt op of buiten de site.

11.2.7. Variante opwarming van de bodem door injectie van stoom

Aanvullend aan de elementen beschreven in voorgaande paragrafen met betrekking tot de verschillende manieren van toevoer van stoffen, zal de installatie voor de opvolging volgende elementen bevatten :

- Ter hoogte van de injectieputten, debietmeters die de debieten en gecumuleerde volumes opmeten van het geïnjecteerde stoom, manometers die de injectiedruk weergeven alsook thermometers ;
- Voorzien van thermometers in de verschillende controlepunten in de bodem.



Figuur 6 : Voorbeeld van een observatiepunt
(*Bron : Air Sparging, A Project Manager's Guide, Battelle Press 2002*)

12. Opvolgingsmaatregelen : op te volgen parameters en frequentie van opvolging

De op te volgen parameters en de meetfrequentie zijn weergeven in **Tabel 6.**

Tabel 6 : Frequentie en op te volgen parameters

Opvolgingsparameter	Methode	Parameter	Minimale frequentie	Opmerkingen
In het algemeen				
Opvolging peilbuizen	Metingen van het niveau van het grondwater in de in de controlepeilbuizen	Stijghoogte in de peilbuizen	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	Opstellen en up to date houden van isohypsen kaart en de stromingsrichting
Parameters van het grondwater	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses van het grondwater	Concentraties aan verontreinigende stoffen waarvoor de interventie nodig is en intermediaire afbraakproducten + secundaire verontreinigingen die ontstaan (As, …)	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	Doel : opmaken of aanvullen van een trendanalyse , aantonen dat de natuurlijke afbraak plaatsvindt en een inschatting maken van de afbraaksnelheid, opvolgen van de verspreiding van de pluim
Parameters van het grondwater	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses van het grondwater	Geochemische indicatoren van de afbraak : TOC, concentraties in elektron acceptoren : O_2, Nitraat, sulfaat, Fe(II), Mn(II), pH, Ec, T°, anorganische opgeloste koolstof	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	
Facultatieve parameters van het grondwater	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses van het grondwater	Telling van bacteriën, PCR test, H_2, acetaat en vluchtige zuren, chloride, nitriet, sulfiet, sulfide, etheen, ethaan, methaan, fenolindex, CO_2	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	
Residuele concentraties in de bodem	Boringen en staalnames van de bodem en analyses, ter hoogte van de van de kern en van de pluim van de verontreiniging	Concentraties aan verontreinigende stoffen van het bronproduct en van intermediaire afbraakproducten (kg/Kg of kg/m³)	Bij opstart en nadien na 6 maand	De diepte van de staalname moet toelaten moet toelaten om een eventuele verticale verspreiding op te sporen - indien mogelijk nagaan welke rol de abiotische processen spelen bij de afbraak (neerslag, sorptie, ….)
Concentraties in de gasfase van de bodem	Staalname van bodemlucht	Verontreinigende stoffen en vluchtige afbraakproducten	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	Facultatief, als de vervluchtiging of afbraak in de gasfase een belangrijke rol speelt in het mechanisme
Massabalans : Inschatting van de residuele hoeveelheden van de verontreinigende stoffen en van de afbraakproducten	Gemiddelde residuele concentraties van de verschillende fase in de bodem in de betrokken zone	Massabalans : initiële hoeveelheid van de verontreiniging, residuele hoeveelheid, afgebroken hoeveelheid (Kg) en geproduceerde hoeveelheid (kg) aan intermediaire afbraakproducten	Elke 6 maand	Inschatting van de duurtijd van de behandeling
Passieve en active infiltratie (aanvullende parameters en meer intensieve frequenties in vergelijking met de algemene regel)				
Debieten van de oplossingen aan additieven geïnfiltreerd per infiltratieput	Debietmeter ter hoogte van de putten	Debiet (m³/s) en gecumuleerde volumes	Eerste maand (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks vervolgens driemaandelijks	Indien infiltratie van lange duur
Opvolging peilbuizen	Metingen van het niveau van het grondwater in de in de controlepeilbuizen	Stijghoogte in de peilbuizen	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	Opstellen en up to date houden van isohypsen kaart en de stromingsrichting
Directe injectie onder druk (aanvullende parameters)				
Hoeveelheid geïnjecteerd per injectiepunt	Debietmeter in de injectie installatie	Hoeveelheid per injectiepunt	Tijdens de injectie	
Infiltratie (actief of passief) met grondwateronttrekking + eventuele recirculatie (aanvullende parameters en meer intensieve frequenties in vergelijking met de algemene regel)				
Debieten van de oplossingen met geïnfiltreerde additieven per infiltratieput	Debietmeter ter hoogte van de putten	Debiet (m³/s) en gecumuleerde volumes	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	Indien infiltratie van lange duur
Opvolging peilbuizen	Metingen van het niveau van het grondwater in de in de controlepeilbuizen	Stijghoogte in de peilbuizen	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	Opstellen en up to date houden van isohypsen kaart en de stromingsrichting
Onttrokken debiet per pompput	Debietmeter ter hoogte van de putten	Debiet (m³/s) en gecumuleerde volumes	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	

Gemeten concentraties in het gepompte grondwater	Bemonstering van het gepompte grondwater	Gehaltes aan verontreinigende stoffen waarvoor een interventie wordt toegepast, intermediaire afbraakproducten, residuele additieven (tensioactieve), pH, Eh, O_2 opgelost, elektrische conductiviteit, T°, TOC,	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	
Opgemeten concentraties in het herinjecteerde water na zuivering	Bemonstering van het effluent van de zuiveringsinstallatie voor herinjectie	Gehaltes aan verontreinigende stoffen waarvoor een interventie wordt toegepast, intermediaire afbraakproducten, pH, Eh, O_2 opgelost, elektrische conductiviteit, T°, meting van de biomassa, bacteriëntelling (facultatief), zwevende deeltjes, gehalte aan Fe, Mn, methaan , carbonaten	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	Toevoer aan O_2 en risico's op verstopping van injectiefilters
Opgemeten concentraties in het lozingswater	Bemonstering van het effluent van de zuiveringsinstallatie	Zie Code van goede praktijk AUX 1 zuivering van opgepompt grondwater		

* de frequentie zal aangepast worden door de deskundige in functie van de monitoringsresultaten

Tabel 6 - vervolg : Frequentie en op te volgen parameters

Passieve injectie van trage zuurstof afgevende stoffen (aanvullende parameters en meer intensieve frequenties in vergelijking met de algemene regel)				
Hoeveelheden additief toegevoegd per injectieput	Metingen hoeveelheden per put	Hoeveelheden additief (vast, gel of grout) in kg/put	Bij toevoeging	
Hoeveelheden additief verbruikt per put	Metingen hoeveelheden per put	Hoeveelheden additief (vast, gel of grout) verbruikt in kg/put	Eerste twee maanden (opstart) : maandelijks, daarna afhankelijk van de snelheid van het verbruik	Aanpassingen van de frequentie van de toevoer
Biosparging (lucht) + extractie van bodemlucht (aanvullende parameters en meer intensieve frequenties in vergelijking met de algemene regel)				
Metingen van de geïnjecteerde luchtdebieten en de injectiedrukken ter hoogte van de injectieputten	Debietmeters en manometers ter hoogte van de putten	Debieten en gecumuleerde volumes van geïnjecteerde lucht	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks	
Metingen van de druk in de controlepunten die dicht bij de injectiepunten geplaatst werden	Manometers ter hoogte van de controlepunten	Druk in de verzadigde zone en controle van de invloedstraal	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks	Opvolging van de efficiëntie van de biosparging
Metingen van de O_2 in de controlepunten die dicht bij de injectieputten geplaatst werden	Bemonstering en analyse van l'O_2	Gehalte aan O_2 en controle van de luchtcirculatie in de verzadigde zone	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks	Opvolging van de efficiëntie van de sparging
Opvolging peilbuizen	Metingen van het niveau van het grondwater in de in de controlepeilbuizen	Stijghoogte in de peilbuizen	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	Opstellen en up to date houden van isohypsen kaart en de stromingsrichting
Gasdebieten van de extractieputten	Debietmeter ter hoogte van de putten	Debiet (m^3/s) en gecumuleerde volumes	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks	
Onderdruk en temperatuur ter hoogte van de onttrekkingsputten	Manometer en temperatuursonde ter hoogte van de putten	Onderdruk (Pa) en Temperatuur (°C)	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks	Voor de berekening van de onttrokken volumes (standaard T° et druk)
Gehaltes aan verontreinigende stoffen in de onttrokken gassen uit elk van de putten	Bemonstering ter hoogte van de onttrekkingsputten en analyse van de stalen. Actiefkoolbuis, Dräger-buis , PID, FID	Concentraties aan verontreinigende stoffen waarvoor de interventie vereist is en intermediaire degradatieproducten die tevens verontreinigend zijn	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	
Raming van de onttrokken hoeveelheden verontreinigende stoffen per put en in totaal	Som van de onttrokken hoeveelheden over de verschillende controle perioden	Massabalans : verwijderde hoeveelheden en residuele hoeveelheden aan verontreinigende stoffen (Kg)	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	
Gehaltes in het geloosde gas	Bemonstering ter hoogte van de onttrekkingsputten en analyse van de stalen. Actiefkoolbuis, Dräger-buis , PID, FID	Concentraties aan polluenten waarvoor een interventie noodzakelijk is (kg/m^3)	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks en daarna driemaandelijks	
Hoeveelheden van het verbruikte actief kool	Hoeveelheden van het actief kool gebruikt in de filter	Kg	Levering + verwerkingsbonnen	
Hoeveelheden en concentraties aan verontreinigende stoffen in het condensaat	Hoeveelheden vloeistof gerecupereerd uit de afscheider en concentraties aan verontreinigende stoffen	m^3 en kg/m^3	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks	Reinigingsmogelijkheden nagaan op of buiten de site
Gestimuleerde natuurlijke afbraak + Variante opwarming van de bodem (aanvullende parameters en meer intensieve frequenties in vergelijking met de algemene regel)				
Debieten en injectiedrukken van het stoom in de injectiepunten	Debietmeter en manometer ter hoogte van de injectiepunten	Geïnjecteerde debieten (m^3/s) en injectiedruk (Pa)	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks	
Metingen van de temperaturen ter hoogte van de injectiepunten van het stoom	Temperatuursondes in de injectieputten	T °en °C	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks	
Metingen van de temperatuur van het water ter hoogte van de controlepunten.	Temperatuursondes in de controle putten	T° en °C	Eerste maand (opstart) : dagelijks, daarna maandelijks	

Onderstaande opmerkingen zijn te maken bij de tabel :

- Betreffende de te analyseren parameters, geeft **Tabel 6** hierboven een checklist voor de deskundigen. Tijdens het opstellen van een meet- en staalnameplan, zal de deskundige een voorstel formuleren en motiveren voor de te analyseren parameters in de verschillende bodemfases.
- De lijst met te analyseren parameters, voorgesteld door de expert kan aangepast worden in de tijd : verminderen van het aantal te analyseren parameters na de opstartfase als de gestimuleerde afbraak verloopt zoals gepland en als de beschikbare gegevens als voldoende worden beoordeeld om de evolutie van de verontreinigingspluim te voorspellen op het vlak van concentraties en omvang. In geval van onvoorziene omstandigheden of verloop, kan het echter aangeraden zijn om het aantal te analyseren parameters opnieuw te verhogen.
- Betreffende de staalname- en analysefrequentie van het grondwater, dienen verschillende factoren in rekening te worden gebracht: de seizoensveranderingen in stijghoogtes, de afstand tot potentieel bedreigde receptoren en de advectie snelheid van het grondwater. In het algemeen wordt aangenomen dat het tijdsinterval tussen twee opeenvolgende meet- en bemonsteringscampagnes maximaal de tijd voorstelt die nodig is voor de pluim om de eerste niet verontreinigde controle peilbuis te bereiken. Dit tijdsinterval wordt soms door twee gedeeld door rekening te houden met onzekerheden betreffende de grens van de verontreinigingspluim en de verspreidingssnelheid van de verontreiniging zelf. De voorgestelde regels voor wat betreft de frequenties in **tabel 6** zijn dus enkel indicatief en mogen door de deskundige op een gemotiveerde manier aangepast worden met behulp van concrete argumenten gebaseerd op site specifieke karakteristieken.
- Er dient te worden opgemerkt dat voor MTBE, hogere frequenties van opvolging aan te raden zijn gezien het specifieke gedrag van deze verontreinigend stof: belangrijke variaties over de tijd van de gemeten concentraties ten gevolge van het sporadisch in oplossing komen van de ervan.
- De analyse van de gehaltes aan verontreiniging in de gassen zal gerealiseerd worden in labo na staalname op actief kool of met gaszakken. De deskundige kan echter voorstellen om directe metingen uit te voeren met FID- of PID-toestellen als er een goede correlatie bestaat tussen de directe metingen en de labo-analyses. Voor een verontreiniging bestaande uit een mengsel, zoals koolwaterstoffen, kan de samenstelling van deze mengsels evolueren tijdens de voortgang van de behandeling. Bijgevolg moet de overeenstemming tussen directe metingen en labo-analyses regelmatig bijgesteld worden volgens een frequentie voorgesteld door de deskundige. O_2 en CO_2 metingen in de gassen kunnen direct uitgevoerd worden.
- De periodiciteit van de staalname campagnes en de analyses van de bodemstalen, het grondwater en bodemlucht kunnen aangepast worden op basis van een goed geargumenteerd voorstel van de deskundige.
- Voor het nemen van stalen van grond, grondwater en bodemlucht wordt verwezen naar Code van goede praktijk n° 3 van Leefmilieu Brussel « Nemen van stalen van bodem, grondwater, sediment en bodemlucht. … ». Voor de analyse van deze stalen, wordt verwezen naar Code van goede praktijk n° 4 « Code van goede praktijk voor analysemethodes … », uitgegeven door Leefmilieu Brussel .
- Voor wat betreft de recirculatie van behandeld grondwater en de injectie van tensioactieve agentia, zal de deskundige rekening houden met de aanbeveling zoals opgenomen in de Code van Goede Praktijk n°1 over het pompen van vloeistoffen in het verzadigde deel van de bodem.

- Voor wat betreft de behandeling van water en gas uit de bodem, wordt verwezen naar de aanbevelingen zoals opgenomen in de Codes van Goede Praktijk AUX 1 en 2.

De te controleren parameters voor de zuivering in verband met hinder worden weergegeven in **Tabel 7.**

Tabel 7: Frequenties en te controleren parameters in verband met hinder

Monitorings-parameters	Materiaal	Parameter	Minimum frequentie	Opmerkingen
Concentraties aan verontreinigings-parameters in de omgevingslucht	Luchtstaalname in de omgeving van de zuiveringsinstallatie of van gevoelige zones en analyse van de luchtstalen door actief koolbuisjes, PID, FID	Concentraties aan verontreinigings-parameters waarvoor behandeling vereist is (kg/m³)	Bij de opstart, vervolgens na 2 weken en vervolgens elke 3 maanden.	In het geval er vluchtige polluenten worden onttrokken.
Geluidsmetingen	Opstelling van een meetnetwerk	Geluidsniveau	Bij klachten van omwonenden	
Geurmetingen	Opstelling van een meetnetwerk	Geurniveau	Bij klachten van omwonenden	

13. Rapportering, optimalisatie en corrigerende maatregelen

Rapportering

Overeenkomstig het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 29/03/2018 tot vaststelling van de type-inhoud van het risicobeheersvoorstel, van het saneringsvoorstel, de aangifte voorafgaand aan de behandeling van beperkte duur en de modaliteiten van de bekendmaking door aanplakking van de behandeling van beperkte duur, impliceert het in werking stellen van een interventie door gestimuleerde natuurlijke afbraak het voorleggen van een of meerdere tussentijdse rapporten aan Leefmilieu Brussel :

- Tussentijds rapport over de opstartfase of pilootstudie. Men schat dat een normale uitvoeringstermijn van een opstartfase 2 maanden is. Mits gerechtvaardigd voorstel van de expert mag deze termijn gewijzigd worden.
- Andere tussentijdse rapporten indien de behandelingsmaatregelen en het beheer zich over meerdere jaren uitstrekken. De frequentie van deze tussentijdse rapporten wordt niet gespecificeerd in het Besluit. Deze frequentie zal worden bepaald door de expert. Een tussentijds rapport zal opgemaakt en voorgesteld worden aan Leefmilieu Brussel van zodra, op basis van de verzamelde gegevens tijdens de verschillende gevolgde campagnes, er significante wijzigingen aan de maatregel noodzakelijk blijken en dienen te worden voorgelegd aan Leefmilieu Brussel : aanleg van nieuwe putten of sleuven, afsluiten van verschillende putten of sleuven, uitbreiding van het netwerk van monitoringspeilbuizen ten gevolge van de uitbreiding van de pluim, installatie van andere methoden voor toevoer van d'O_2, andere behandelingstechnieken…

De inhoud van het eerste tussentijdse rapport zal minimum de informatie bevatten die beschreven wordt in **tabel 8** hieronder.

Tabel 8 : Minimum aan te leveren informatie in het eerste tussentijds rapport

Rubriek	Parameters en te meten hoeveelheden	Opmerkingen
Beschrijving van de beginsituatie vanaf de start van de behandeling	Verdeling van de concentraties aan verontreinigende stoffen en hun intermediaire afbraakproducten (in 3D) in de vaste en vloeibare fase van de bodem (eventueel in de gasfase), piëzometrische stijghoogtes en isohypsen (stromingsrichting). Geochemische indicatoren van de afbraak : TOC, concentraties in elektron acceptoren : O2, Nitraat, sulfaat, Fe(II), Mn(II), pH, Ec, T°, anorganische opgeloste koolstof. Geraamde duurtijd van de behandeling op basis van de bekomen gegevens.	Grafische voorstelling van de omvang van de verontreinigingspluim
Beschrijving van de opvolgingsmaatregel (as built) voor de eerste fase, ongeacht wel techniek van toevoer van stimulerende stoffen en additieven	Types van elektron acceptoren, nutriënten, tensioactieve agentia, enten van eventueel gebruikte bacteriën (gehaltes en karakteristieken van de toevoegingen). Beschrijving van de elementen van de inrichting : infiltratie/injectieputten/onttrekkingsputten (aantal, ligging, diameter, diepte, filterstelling, grindkoffer, kleistoppen, annulaire ruimte, thermometer), directe injectieputten (aantal, ligging, diepte), monitoringspeilputten (aantal, ligging, diameter, diepte, filterstelling, grindkoffer, kleistoppen, annulaire ruimte, afwerking), inrichting voor het opmeten van de geïnfiltreerde/geïnjecteerde en onttrokken debieten aan additieven/grondwater (type, ligging, ...), inrichting voor het meten van de onderdruk (type, ligging), inrichting voor het meten van de stijghoogte nabij de extractieputten, toevoerleidingen, product/waterafscheider, waterzuiveringsinstallatie , staalname punten voor bemonstering van gas, lucht en bodem (ligging en diepte)	De ligging van de verschillende elementen van de inrichting dient aangetoond te worden op figuren in bijlage van het tussentijds rapport
Beschrijving van de aanvullende installaties indien toepassing van variante met toevoeging van tensioactieve agentia en opwarming door injectie van stoom	Beschrijving van de aanvullende elementen : injectieputten van het stoom (aantal, ligging, diepte, lengte filter, bentonietstop, grindkoffer, afwerking), instrument voor het meten van de geïnjecteerde debieten, instrument voor het meten van de temperatuur in de bodem (ligging van de sondes). Indien variante = toevoeging van tensioactieve agentia : type en toegevoegde hoeveelheden en punten van toevoer.	
Te rapporteren parameters indien toevoeging gebeurt via actieve of passieve infiltratie	Geïnfiltreerde debieten en toegepaste drukken in de verschillende putten, verificatie van de extensie van de invloedzone van de infiltratie. Stijghoogtes in de peilbuizen en kaarten met aanduiding van stijghoogten (stromingsrichting). Gemeten concentraties in het grondwater ter hoogte van de controlepeilbuizen : polluenten, afbraakproducten (intermediair en finaal), pH, Eh, O_2 (en andere elektron acceptoren), nutriënten, elektrische conductiviteit. Geochemische indicatoren van de afbraak : TOC, Fe(II), Mn (II), anorganische opgeloste koolstof. Residuele concentraties in de bodem en massabalans van de te behandelen verontreinigende stoffen en de residuele vuilvracht (initiële hoeveelheden, residuele hoeveelheden en afgebroken hoeveelheden). Ingeschatte tijdsduur van de behandeling op basis van de bekomen gegevens. Haalbaarheid van de techniek - Correctieve maatregelen (indien nodig)	
Aanvullende parameters te rapporteren indien infiltratie samen met grondwateronttrekking + eventuele recirculatie	Debieten van het gepompte water. Invloed(straal) van de pompputten. Concentraties aan verontreinigende stoffen (verontreinigende stoffen waarvoor interventie nodig is + intermediaire afbraakproducten) in het onttrokken grondwater. Gehaltes aan verontreinigende stoffen voor lozing. Debiet van de recirculatie van de het behandelde water.	
Parameters te rapporteren bij directe injectie	Druk van de injecties en hoeveelheden van de geïnjecteerde producten in de verschillende punten. Invloedstraal van de injectiepunten. Concentraties gemeten in het grondwater ter hoogte van de controlepeilbuizen : verontreinigende stoffen, reactieproducten of afbraakproducten (intermediair of finaal), pH, Eh, O2 (en andere elektron acceptoren), concentraties aan nutriënten, elektrische conductiviteit. Geochemische indicatoren van de afbraak : TOC, Fe(II), Mn (II), anorganische opgeloste koolstof. Residuele concentraties in de bodem en massabalans van de te behandelen verontreinigende stoffen en de residuele vuilvracht (initiële hoeveelheden, residuele hoeveelheden en afgebroken hoeveelheden). Haalbaarheid van de techniek - Correctieve maatregelen (indien nodig)	
Aanvullende parameters te rapporteren indien toevoeging van trage zuurstofafgevende stoffen	Verbruik van additieven per injectieput	
Te rapporteren parameters indien biosparging + extractie van bodemlucht	Geïnfiltreerde luchtdebieten en toegepaste drukken in de verschillende putten, verificatie van de extensie van de invloedzone van de infiltratie. Stijghoogtes in de peilbuizen en kaarten met aanduiding van stijghoogten (stromingsrichting). Gemeten concentraties in het grondwater ter hoogte van de controlepeilbuizen : polluenten, afbraakproducten (intermediair en finaal), pH, Eh, O_2 (en andere elektron acceptoren), nutriënten, elektrische conductiviteit. Onderdruk en debieten in de extactieputten. Geochemische indicatoren van de afbraak : TOC, Fe(II), Mn (II), anorganische opgeloste koolstof. Residuele concentraties in de bodem en massabalans van de te behandelen verontreinigende stoffen en de residuele vuilvracht (initiële hoeveelheden, residuele hoeveelheden en afgebroken hoeveelheden). Concentraties aan verontreinigende stoffen in het behandelde gas voor hun lozing. Ingeschatte tijdsduur van de behandeling op basis van de bekomen gegevens. Haalbaarheid van de techniek - Correctieve maatregelen (indien nodig)	
Aanvullende parameters te rapporteren indien variante van stoominjectie	Debieten, t° en injectiedruk van het stoom. Geïnjecteerde hoeveelheden. Gemeten temperaturen van het grondwater.	
Aanvullende parameters te rapporteren indien variante van injectie van tensioactieve agentia	Geïnjecteerde hoeveelheden van tensioactieve agentia, concentraties aan tensioactieve agentia in het grondwater van de controlepeilbuizen.	
Facultatief te rapporteren parameters	Telling van bacteriën, PCR testen, gehaltes in het grondwater van H_2, acetaat en andere vluchtige organische zuren, chloride, nitriet, sulfiet, sulfide, etheen, ethaan, methaan, fenolindex, CO_2	Indien noodzakelijk geacht door de deskundige
Interpretatie van de resultaten	Simulatie van de toekomstige omvang van de verontreinigingspluim (verticale migratie) en risiconiveau voor de gevoelige receptoren. Schatting van de duurtijd van de behandeling. Analyse van de haalbaarheid van de behandeling door gestimuleerde natuurlijke afbraak	

Corrigerende maatregelen	Aan te brengen wijzigingen aan het monitoringssysteem. Aanpassingen aan de bioventing-installatie. Als bioventing onvoldoende blijkt te werken (te lange duurtijd, verticale migratie van de verontreiniging en risico voor gevoelige receptoren): in werking stellen van een alternatieve behandelingstechniek.	

12.2 Correctieve maatregelen en optimalisatie

Zoals elke behandelingsmethode waarbij biologische processen een grote rol spelen, is de efficiëntie van gestimuleerde natuurlijke afbraak onderhevig aan verschillende onzekerheden rekening houdend met een groot aantal factoren die de goede uitvoering van de behandeling kunnen beïnvloeden : fysicochemische eigenschappen van de bodem, heterogeniteit van de bodem, gemengde verontreiniging die de bacteriële activiteit negatief kan beïnvloeden (bijvoorbeeld zware metalen),…

De methodes voor het stimuleren van de afbraak hebben als doel om de optimale omstandigheden voor biologische afbraak in aerobe condities in de bodem te creëren. Deze methodes worden bepaald in voorstudies, labotesten, veldtesten en pilootproeven.

Ondanks de veelheid aan informatie die verzameld werd in de voorafgaande fases kunnen aanpassingen aan het systeem zich opdringen. Bijvoorbeeld in het geval dat de onzekerheid wat betreft de haalbaarheid (technisch en economisch) van gestimuleerde natuurlijke afbraak te groot is of als de snelheid van afbraak van verontreiniging lager blijkt te zijn dan de snelheid die ingeschat werd bij opmaak van het sanerings- of risicobeheersvoorstel.

De optimalisatie kan bestaan uit beperkte aanpassingen aan het behandelingssysteem en aan de uitvoeringswijze. Naast deze zaken die eenvoudig kunnen aangepast worden, kunnen zich ook grotere problemen voordoen.

De verzamelde informatie blijkt onvoldoende om een uitspraak te doen over de haalbaarheid (technisch of economisch) van gestimuleerde natuurlijke afbraak. Volgende corrigerende maatregelen kunnen uitgevoerd worden:

- Verdichten of uitbreiden van het monitoringsnetwerk ;
- Metingen van aanvullende parameters die toelaten om de evolutie van de natuurlijke afbraak op te volgen.

De duurtijd van de behandeling met gestimuleerde natuurlijke afbraak blijkt onrealistisch vanuit economisch standpunt. De geschatte duurtijd van de behandeling om doelstellingen te bereiken moet naar boven bijgesteld worden op basis van waarnemingen tijdens de beginfase waardoor de nodige tijdsduur onrealistisch wordt voor ingebruikname en toegang van het terrein, kosten voor toezicht, … Bij het overwegen van aanpassingen wordt het inschakelen van meer actieve behandelingsmaatregelen ter hoogte van de kern of pluim geëvalueerd.

De afbraaksnelheid van de verontreiniging en van intermediaire producten is niet voldoende om te verhinderen dat (verticale) migratie van de verontreiniging naar gevoelige sensoren (grondwaterlaag, …) plaatsvindt. Volgende corrigerende maatregelen dienen overwogen te worden : het toepassen van meer actieve behandelingstechnieken, het stoppen van de verspreiding van de pluim, het verhogen van de afbraak van verontreiniging of een combinatie van deze twee laatste.

De daling van de hydraulische conductiviteit tijdens de behandeling, ten gevolge van wijzigingen in de bodemstructuur (verdwijnen van het organisch materiaal) of de neerslag van Fe_2O_3, MnO_2, de toename van de bacteriële biomassa. Het behoud van de structuur van de bodem kan op gunstige manier beïnvloed worden door het in stand brengen van een goede ratio tussen divalente en monovalente kationen en voldoende ionsterkte in de oplossing van de bodem. Het effect van het MnO_2 kan verminderd worden door de toevoeging van een stabilisator (hexametafosfaat).

13. Validatie methode en beslisschema voor stopzetting-voortzetting van de maatregel

De validatie methode heeft als doel om te vast te leggen dat de einddoelstellingen van de sanering of het risicobeheer op een duurzame manier behaald werden, waardoor gesteld kan worden dat de behandeling beëindigd kan worden.

Deze maatregel bestaat uit het uitvoeren van een laatste meet- en bemonsteringscampagne van de geïmpacteerde bodem- en grondwaterlagen. Deze analysecampagne behelst een analyse van alle verontreinigende stoffen waarvoor een interventie nodig was, al hun intermediaire toxische afbraakproducten en andere mogelijke verontreinigende stoffen die verondersteld mogelijk te zijn ontstaan door aanwezigheid van de verontreiniging (As,…).

In het geval dat de doelstellingen werden bereikt voor een bepaalde verontreinigingsvlek, dienen twee opeenvolgende bemonsteringscampagnes te worden uitgevoerd, respectievelijk na 3 en na 6 maanden na het beëindigen van de verwachte werkingsperiode van de laatst geïnjecteerd additieven, om de duurzaamheid van de behaalde resultaten na te kunnen gaan.

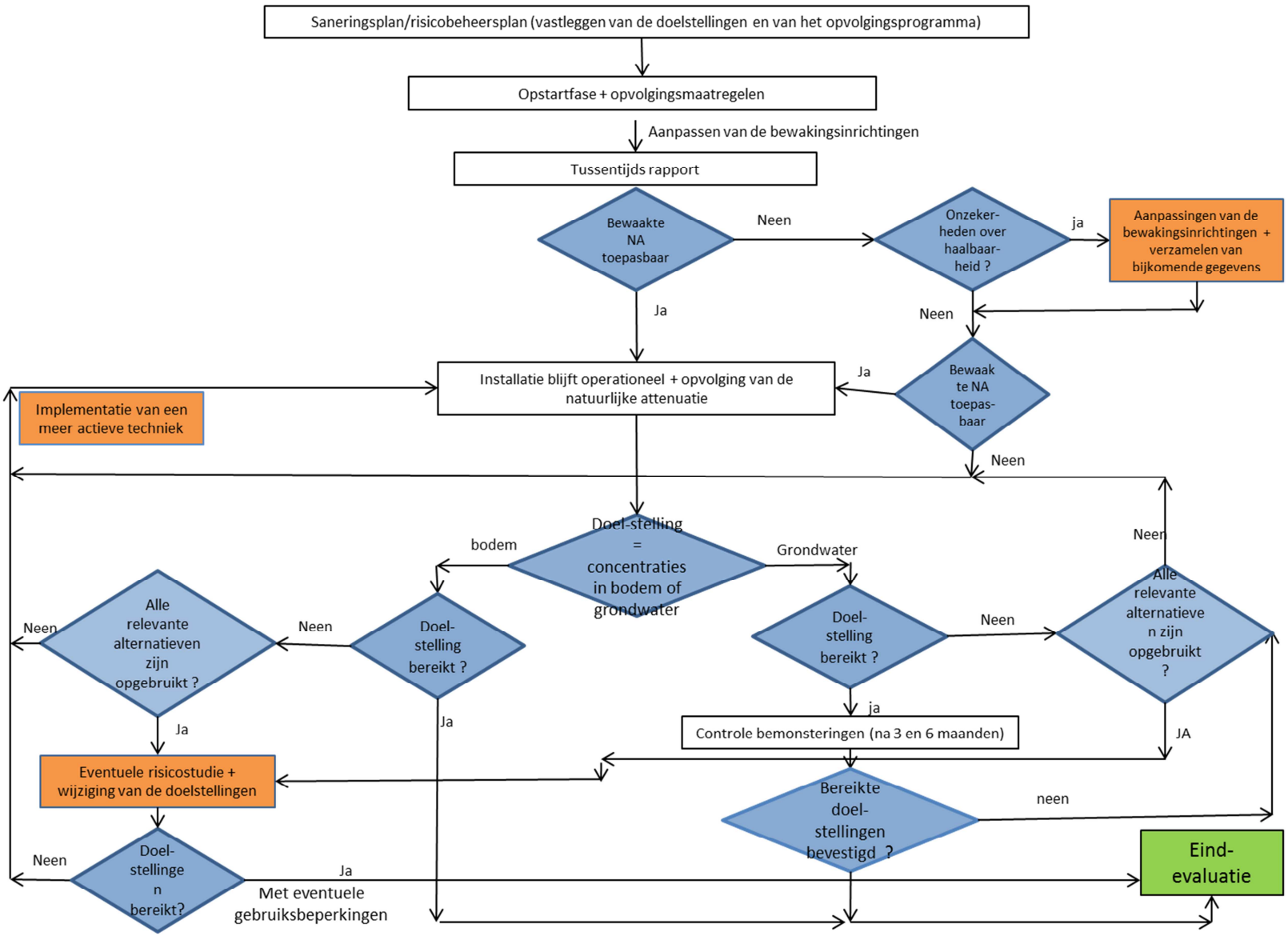
In het geval dat de concentraties in evenwicht onder de doelstellingen blijven, kan de sanering of het risicobeheer als afgerond beschouwd worden. De opvolgingsmaatregelen kunnen dan ontmanteld worden (tenzij een validatie op langere termijn dient te worden gerealiseerd), en er kan een eindevaluatierapport worden opgesteld.

In het geval dat er geen stabiele eindtoestand aangetoond kan worden (doelstellingen bereikt), dienen de opvolgingsmaatregelen en installaties voor de gestimuleerde afbraak van kracht te blijven en dienen eventueel ook bijkomende correctieve maatregelen genomen te worden: overgaan tot meer actieve maatregelen; een ontgraving van de kern...

Indien tijdens de volgende validatie campagnes, de doelstellingen nog steeds niet bereikt worden, kan een aanpassing van de doelstellingen door de deskundige voorgesteld worden in combinatie met een risico studie (met eventueel een voorstel voor gebruiksbeperkingen). Na goedkeuring van dit aangepast voorstel door Leefmilieu Brussel , zijn er twee mogelijkheden: op basis van de nieuwe doelstellingen kan de maatregel als afgerond beschouwd worden of in het andere geval dienen de verrichtingen opnieuw opgestart worden al dan niet samen met bijkomende correctieve maatregelen.

Het beslisschema tijdens de validatiefase ziet er als volgt uit :

Beslisschema validatie van de sanering of het risicobeheer



14. Mogelijke opvolgmaatregelen op lange termijn (lange termijn validatie) : maatregel en soorten metingen

Op suggestie van de expert en/of op aanvraag van Leefmilieu Brussel , kunnen opvolgingsmetingen (lange termijn validatie of post beheer) gevraagd worden aan de titularis van de verplichting na het sluiten van de sanering of het risicobeheer. Deze metingen beogen om te bevestigen dat de resultaten van de werken en meer bepaald het halen van de doelstellingen bereikt werden op een duurzame manier op lange termijn. Op logischer wijze zijn deze lange termijn vervolgmetingen verantwoord als er een onzekerheid bestaat over de continuïteit van de verkregen resultaten: belangrijke variatie van de gemeten gehalten in de controle peilbuizen, gestabiliseerd niveau van de gehalten met waarden dichtbij de doelstellingen, bijzondere ongunstige omstandigheden,…

Bij de maatregelen waarbij de doelstellingen gerelateerd zijn aan de kwaliteit van het grondwater, kan deze opvolging op lange termijn plaatsvinden door de opvolging van een aantal peilbuizen ter hoogte van de verontreinigde zone en stroomafwaarts ervan.
In tegenstelling tot de maatregelen genomen tijdens de opvolgings- of validatiefase, zullen in deze fase niet alle peilbuizen bemonsterd worden voor analyse maar slechts een aantal representatieve peilbuizen die toelaten de kwaliteit op te volgen in de verontreinigde zone en stroomafwaarts ervan.

In ieder geval, dient één of meerdere peilbuizen die stroomopwaarts gelegen is ten opzichte van de geïdentificeerde potentieel bedreigde receptoren te worden opgenomen in het opvolgingsplan voor bemonstering en analyse.

De parameters die onderzocht moeten worden zijn::

- De residuele concentraties aan verontreinigende stoffen in het grondwater (verontreinigende stoffen waardoor de maatregelen opgestart werden worden geanalyseerd + intermediaire afbraakproducten die een mogelijke negatieve impact om mens en leefmilieu hebben, metalen en andere mogelijke verontreinigende stoffen die gevoelig zijn voor veranderingen in redox condities in de bodem).
- De parameters die een invloed hebben op het verdere verloop van de natuurlijke afbraak van de verontreiniging: pH, O2, CO2, TOC, nitraat, sulfaat, nutriënten, Fe(II), Mn(II), … afhankelijk van de processen die verantwoordelijke zijn voor de natuurlijke afbraak.

Wat betreft de afname van stalen van grondwater, volstaat het zich te baseren op de code van goede praktijk n° 3 van het BIM « Staalname van bodem, grondwater, van waterbodem en van bodemlucht». … Voor de analyse van stalen van grondwater volstaat het om zich te baseren op de code van goede praktijk n° 4 « code van goede praktijk voor analysemethoden. … », van het BIM.

De duurtijd en de frequentie van de validatiemetingen op lange termijn variëren in functie van de omstandigheden: onzekerheidsgraad en niveau van de residuele waarden, soorten verontreinigende stoffen aanwezig en het risico dat hun aanwezigheid behelst, aanwezigheid van en afstand tot gevoelige receptoren, bewegingssnelheid van de verontreinigende stoffen.

Het opvolgingsprogramma dat het duurzaam behalen van de finale behandelingsdoelstellingen beoogt, dient representatief en redelijk te zijn zowel wat de frequentie als de duurtijd van de gehele opvolging betreft, zodat een uitspraak kan gedaan worden (1) over de stabiliteit van het finale resultaat van de behandeling of (2) over een eventuele stijgende trend. Zonder specifieke motivatie dient de opvolging de termijn van 2 jaar niet te overschrijden.

De rapportering over de meetcampagnes en het overhandigen van de rapporten aan het BIM gebeuren op jaarlijkse basis of, in minder voorkomende mate na elke opvolgingscampagne.

De gemeten gehalten worden vergeleken met de doelstellingen. De interpretatie van de waarden gebeurt als volgt:

- Alle gemeten gehalten zijn systematisch lager dan de doelstellingen: de continuïteit van de resultaten is verworven en het dossier wordt gesloten.
- De gehalten van bepaalde verontreinigende stoffen en ter hoogte van bepaalde observatiepunten schommelen met af en toe kleine overschrijdingen van de doelstellingen: verlenging van de meetperiode voor validatie op lange termijn indien men een dalende trend in gang kan zetten.
- De gehalten van bepaalde verontreinigende stoffen overschrijden de objectieve waarden op herhaalde wijze, zelfs na verlenging van de monitoringsperiode of de gehalten van bepaalde verontreinigende stoffen overschrijden zichtbaar en aanhoudend de doelstellingen en/of een vrije laag verschijnt (opnieuw). Om dit aan te pakken, kunnen 3 werkwijzen in acht genomen worden:
    - De verontreiniging is van een andere aard dan op het moment dat het gedetailleerd onderzoek plaatsvond: nieuwe actieve bron, nieuw geval van verontreiniging, nieuwe omstandigheden, … Een nieuw gedetailleerd onderzoek dringt zich dan op, resulterend in een nieuwe behandeling, met dezelfde of een andere titularis van de verplichting.
    - Nieuwe werken zijn noodzakelijk om de doelstellingen van de behandeling te bereiken die eerder voorop gesteld werden. Natuurlijke afbraak of gestimuleerde natuurlijke afbraak zijn hier een optie.
    - Het is niet mogelijk om de doelstellingen te bereiken op duurzame wijze binnen aanvaardbare termijnen en binnen een realistisch budget: de doelstellingen worden aangepast (interventiewaarden of waarden ten gevolgen van een andere risico-analyse).

15. Aanbevelingen met betrekking tot veiligheid en stabiliteit

15.1 Beknopte checklist voor de aannemers

De checklist bestemd voor de aannemers is weergegeven in onderstaande tabel. Deze lijst beoogt de aannemers te helpen bij het opstellen van hun aanbiedingen als antwoord op de bestekken, opgesteld door experts. Rekening houdend met de grote variëteit aan voorkomende situaties is deze lijst niet-limitatief.

Tabel 9 : Check list voor de aannemers

Rubriek	Controle
Verplicht vooraf beschikbare informatie (bestek, omschrijving der werken,...)	
Kabels en leidingen	Aanvraag bij netwerkbeheerders gedaan en toereikend antwoord ontvangen
Karakteristieken van de infrastructuren op en in de onmiddellijke nabijheid van de site	Inventaris en opmeting van de bovengrondse gebouwen en infrastructuren. Inventaris en opmeting van de ondergrondse structuren.
Gevoeligheid van ondergrondse infrastructuur voor oxidansen (bij gebruik van peroxide), aan tensioactieve agentia	Specifieke (stabiliteits)studie in overeenstemming met de uit te voeren werken en de site specifieke karakteristieken
Stabiliteitsstudie voor de bovengrondse werken	Toereikende stabiliteitsstudie, in overeenstemming met de uit te voeren werken (bij bemaling)
Gevoelige receptoren	Toereikende identificatie van gevoelige receptoren op en in de omgeving van de werf
Technische aspecten van het bestek of van de omschrijving der werken	Beschrijving van de onttrekkingsinstallatie (putten, situering, dimensies, ...) en eventueel de injectie-installatie; vastleggen van de juiste hoeveelheden: debieten, drukken, onderdrukken, type pompen, …
Bepaling van de nodige vergunningen en te respecteren normeringen	Nagaan of de nodige vergunningen aangevraagd zijn door de opdrachtgever. Verifiëren of de systeemvereisten in overeenstemming zijn met de normeringen.
Opzoeken van specifieke procedures	Specifieke procedures opzoeken en nagaan of hiermee voldoende rekening is gehouden in het bestek of beschrijving van de werken: stockage en transport van gevaarlijke en/of toxische substanties, gasemissies, ….
Lozingspunten	Lozingspunten voor de behandelde onttrokken bodemlucht zijn bekend en in overeenstemming met de karakteristieken van de site. Vergunningen zijn aangevraagd en verkregen.
De communcatielijnen zijn vastgelegd	Identiteit en coördinaten van bouwheer, opdrachtgever, dossierhouder van het BIM en bevoegde overheden zijn bekend
Informatie verplicht aanwezig in het Veiligheid-, Gezondheid- en Milieuplan (VGM-plan) van de aannemer	
Identificatie en aard van de risico's	MSDS (material safety data sheets) en veiligheidsvooschriften van gebruikte substanties. Risico's tijdens de stockage, handelingen en gebruik van verschillende substanties: risico's voor het personeel (inhalatie, dermaal contact), risico op brand, risico op verspreiding, …
	Explosierisico in het collectorsysteem voor bodemgas rekening houdend met de ontvlambaarheid van de onttrokken componenten
	Risico op ontvlambaarheid in de bodem tgv van de aanwezigheid van O_2
	Risico's voor ondergrondse infrastructuren bij contact met oxidansen (indien gebruik van peroxide) en in geval van opwarming van de bodem door stoominjectie ,…
	Explosierisico door de vorming van bellen met ontvlambare vluchtige producten in de bodem
	Risico op bodem- en grondwaterverontreiniging als gevolg van opslag van verontreinigde bodem op de site
	Risico op bodem- en grondwaterverontreiniging als gevolg van opslag van verontreinigde bodem op de site (tijdens het plaatsen van putten of sleuven)
	Gezondheidsrisico's voor het personeel ten gevolge van het mogelijke opstijgen naar de oppervlakte van chemische verbindingen bij de directie injectie of door het overlopen tijdens de infiltraties
	Gezondheidsrisico's voor het personeel ten gevolge van de aanwezigheid van vluchtige en gevaarlijke producten. Risico's voor door de aanwezigheid van gevaarlijke vluchtige verbindingen in de atmosfeer tijdens het pompen en de behandeling van bodemgas (in het geval van biosparging).

	Risico's op ongevallen : vallen, snijden, knellen, brand, elektrocutie,…
	Risico's verbonden aan het betreden van het terrein door niet-bevoegde personen : diefstal, vandalisme en gezondheidsrisico's
	Risico's bij werken in besloten ruimtes (kelders, sleuven, …) verbonden aan een slechte omgevingsluchtkwaliteit
	Risico's door klimatologische omstandigheden : bevriezing van de leidingen indien er veel condensaat gevormd wordt….
	Risico's verbonden aan het verkeer (voetgangers, auto's,…) indien er zich infrastructuren op het openbaar domein bevinden
Preventiemaatregelen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de juiste preventiemaatregelen te worden vastgelegd en geïmplementeerd (o.a. explosieveilig elektrisch materiaal), evenals een juiste opleiding van het personeel
verbeterende en interventiemaatregelen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de juiste verbeterende en interventiemaatregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toepasbaar met hoge spoed)
Personen en diensten te contacteren bij problemen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de coördinaten van de juiste contactpersonen en diensten te worden vastgelegd : brandweer, gemeente, civiele bescherming, netwerkbeheerder …..
Vaststelling van mogelijke overlast	Geur en voor de omgeving gevaarlijke dampen in geval van lekken en verliezen aan de installatie
	Lawaai van het materieel : pompen, stroomgroepen, ….
	Verkeersopstoppingen
	Bevuiling van de wegenis
Preventiemaatregelen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de juiste preventiemaatregelen te worden vastgelegd en geïmplementeerd. Bijvoorbeeld, het voorzien van explosiemeters, alarmsystemen, automatische noodstop en beveiligingsmodus (als bijvoorbeeld omgevingslucht wordt aangezogen in de piping)
verbeterende en interventiemaatregelen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de juiste verbeterende en interventiemaatregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toepasbaar met hoge spoed)
Planning van interventies	
Monitorings- en onderhoudsplan	Planning van controlebezoeken: minimaal tweemaandelijks
	Planning van onderhoud
Vaststelling van pannes en mogelijk te verwachten technische problemen	Onvolkomenheden aan materieel en installatie : bvb fouten in de lekdichtheid
	Risico op verstopping van de onttrekkings- en injectieputten : terugval van debieten, drukken en onderdrukken
	Vroegtijdige uitputting van de materialen voor de reiniging van de onttrokken bodemlucht (actief kool)
Installatie alarmsysteem, beveilingsmodus en automatische noodstop	
verbeterende en interventiemaatregelen	Voor elk mogelijk te verwachten probleem dienen de juiste verbeterende en interventiemaatregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toe te passen met hoge spoed)
Veiligheidsrapporten van de toezichthouder	Rekening houdend met de monitoringsverslagen van de deskundige en de gecoördineerde implementatie van verbeterende maatregelen of optimalisaties.

Volgende opmerkingen kunnen gemaakt worden:

- Voor aannemers met een VCA certificaat of equivalent zijn de metingen opgesomd in Tabel 9 met betrekking tot veiligheid systematisch van toepassing.
- De checklist van Tabel 9 is geldig voor de aannemers en hun onderaannemers binnen hun respectievelijke interventiedomeinen
- In het algemeen dienen de inspectiebezoeken op de werf uitgevoerd te worden minstens om de twee maanden.
- Voor aan- en afvoerbuizen van gepompt gas en vloeistoffen zal men op systematische wijze de voorkeur geven aan ingegraven buizen om zodoende ongevallen, bevriezing en daden van vandalisme te vermijden.
- Indien de installatie (putten en zuiveringsinstallatie) dicht bij de gebouwen gesitueerd zijn, kunnen lucht analyses uitgevoerd worden in de gebouwen om gehaltes aan vluchtige verbindingen op te meten.
- Indien er een ontploffingsgevaar blijkt in de buurt van de pompputten, de leidingen of het zuiveringsstation, zal het ontploffingsrisico (LEL) continu gemeten worden en het systeem zal veilig gesteld worden vanaf metingen die 10% van de LEL overschrijden.
- In het geval van opslag van verontreinigde aarde, komende van opgravingen bij het installeren van drains of putten, moeten maatregelen genomen worden om verontreiniging te voorkomen van de bodem en onderliggende grondwaterlagen.

15.2 Beknopte checklist voor de bodemverontreinigingsdeskundigen

De checklist voor experts bodemverontreiniging is de volgende. Deze lijst beoogt experts te helpen bij het opstellen van beschrijvingen van de werken, kostenschatting en uitwerken van bestekken bestemd voor aannemers.

Tableau 10 : checklist voor deskundigen

Rubriek	Controle
Verplicht vooraf beschikbare informatie (voorstudie, bestek, omschrijving der werken,...)	
Karakterisatie van de te behandelen verzadigde en onverzadigde zone	Samenstelling van de bodem: opeenvolging en eigenschappen van de lagen, aanwezigheid van lagen met verschillende permeabiliteit, adsorptiecapaciteit, homogeniteit,… Is de dichtheid van de waarnemingen voldoende?
	Eigenschappen van de doorlatendheid van de bodem voor lucht, pomptesten, peilmetingen en grondwaterstromingsrichting, seizoenale variaties in grondwaterstroming, dikte van de aquifer, eventuele afscheidingen tussen verschillende aquifers. Graad van ondoorlatendheid van bovenlaag. Is densiteit en detail van gegevens voldoende?
Aanwezige en te saneren verontreiniging	Aard van de aanwezige verontreiniging, verdeling van de concentraties, is de bron nog actief?, evaluatie van de vuilvracht in de verschillende bodemfases, verspreidingsrisico, aanwezigheid van een drijflaag of een zaklaag, verwachte natuurlijke evolutie van de concentraties (gemeten evolutie, trendanalyses, potentieel natuurlijke afbraak)
Karakteristieken van de infrastructuur op de site en onmiddellijke omgeving	Inventaris en plannen van de gebouwen en bovengrondse infrastructuur. Inventaris en plannen van de ondergrondse infrastructuur.
Gevoelige receptoren	Gevoelige receptoren aanwezig op en rond de werf zijn goed geïdentificeerd
Technische aspecten van de behandeling en beschrijving van de werken	Beschrijving van het pompsysteem (putten, locatie, afmeting, …) en eventueel het injectiesysteem: bepalen van hoeveelheden: debieten, drukken, onderdrukken, pomptype,…
	Uitvoeringswijze: continu of intermitterend. Risico op clogging. Mogelijke corrigerende maatregelen en optimalisaties.
	Voorafgaandelijke verificatie van de doeltreffendheid van de maatregelen : biologische afbreekbaarheid van de verontreiniging, optimale condities van de bodem voor biologische afbraak, type en hoeveelheden van stimulerende agentia nodig om de optimale condities te verkrijgen voor biologische afbraak. Richting en wijze waarop het grondwater en het bodemgas circuleren, extensie van de invloedzone van de infiltratie/injectie putten, extensie van de invloedzone van de extractieputten voor grondwater en gas,….
	doelstellingen zijn goed gedefinieerd voor bodem en grondwater
	Inschatting van de duurtijd en noodzaak om beroep te doen op complementaire processen: injectie van lucht, verwarming van de bodem, toediening van nutriënten, tensioactieve agentia, bio-augmentatie,…
	Nagaan of de beschrijving van de zuiveringseenheid voldoende gedetailleerd is. Zijn de fysische hoeveelheden van de materialen (volume, grootte, vermogen, …) in overeenstemming met de uitvoeringsparameters (debieten, voorziene concentraties, condensaat…)?
Lozingspunten	Lozingspunten voor de behandelde bodemlucht zijn bekend en verenigbaar met de karakteristieken van de site. Vergunningen zijn aangevraagd en verkregen
Bepaling van nodige vergunningen en te respecteren normeringen	Nagaan of de nodige vergunningen aangevraagd zijn door de opdrachtgever. Verifiëren of de systeemvereisten in overeenstemming zijn met de normeringen. Zijn de voorziene procedures conform met de codes van goede praktijk en andere aanbevelingen van het BIM?
Opzoeken van specifieke procedures	Specifieke procedures opzoeken en nagaan of hiermee voldoende rekening is gehouden in het bestek of beschrijving van de werken: transport van gevaarlijk afval (condensaat), gasemissies,…

De communcatielijnen zijn vastgelegd	Identiteit en coördinaten van de bouwheer, de opdrachtgever, dossierhouder van het BIM, bevoegde overheden zijn bekend
Identificatie en aard van de risico's	Explosierisico in het collectorsysteem voor bodemgas rekening houdend met de ontvlambaarheid van de onttrokken componenten
	Risico voor ondergrondse structuren bij opwarming door injectie van warme lucht, damp of een ander systeem
	Risico op ontvlambaarheid in de bodem tgv van de aanwezigheid van O_2
	Explosierisico door de vorming van bellen met ontvlambare vluchtige producten in de bodem
	Gezondheidsrisico's voor het personeel, bewoners en bezoekers ten gevolge van de aanwezigheid en het gebruik van gevaarlijke en toxische producten, het mogelijke opstijgen naar de oppervlakte van chemische verbindingen bij de directie injectie of door het overlopen tijdens de infiltraties (vluchtige schadelijke verbindingen)
	Risico op bodem- en grondwaterverontreiniging door stockage van gevaarlijke/toxische producten en/of verontreinigende stoffen. Risico op het morsen van additieven op de grond bij de infiltraties.
	Risico op bodem- en grondwaterverontreiniging als gevolg van opslag van verontreinigde bodem op de site (tijdens het plaatsen van putten)
	Risico's door klimatologische omstandigheden : bevriezing van de leidingen met vloeistoffen….
	Verkeersrisico's als er infrastructuur aanwezig is op de openbare weg
Preventiemaatregelen	Voor elk potentieel risico, moeten preventieve maatregelen genomen worden, alsook opleiding van het personeel
Personen en diensten te contacteren bij problemen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de coördinaten van de juiste contactpersonen en diensten te worden vastgelegd : brandweer, gemeente, civiele bescherming, netwerkbeheerder …..
Vaststelling van mogelijke overlast	Geur en gevaarlijke dampen voor de omgeving in geval van lekken in de installatie
	Geur en voor de omgeving gevaarlijke dampen in geval van lekken en verliezen aan de installatie
	Lawaai van het materieel : pompen, stroomgroepen, ….
	Verkeersopstoppingen
Preventiemaatregelen	Voor elke van de geïdentificeerde overlasten, beschrijving van de preventieve maatregelen
	Plaatsen van explosiemeters, alarmsystemen, automatische noodstop en beveiligingsmodus (als bijvoorbeeld omgevingslucht wordt aangezogen in de piping)
Planning en inhoud van de werkzaamheden in het kader van de opvolging, validatie en lange termijn opvolging (nazorg)	
Controlesysteem	Beschrijving, locatie en plannen van het controlesysteem: debietsmeters, drukmeter en temperatuursondes ter hoogte van de onttrekkingsputten, injectieputten, controlepeilbuizen, meetpunten in de bodem en staalnamepunten van bodemgas en onttrokken behandeld gas, staalname van omgevingslucht... Rekening houdend met de gevoelige receptoren die moeten beschermd worden

Monitoringsparameters	Metingen van onderdruk en onttrekkingsdebiet, metingen van onderdruk in de bodem, metingen van de grondwaterstand, concentraties in opgepompt gas, massabalans van de vuilvracht, residuele concentraties aan verontreiniging en afbraakproducten (al schadelijk) in de bodem en het grondwater, berekening van de captatiezone, gasconcentraties aan de in- en uitgang van de luchtzuivering, aanwezigheid en grootte van puur product, debieten en drukken van injectie van lucht, temperatuur van geïnjecteerde en onttrokken gassen, bodemtemperatuur, verspreiding van verontreiniging naar het grondwater en naar gevoelige receptoren
Optimalisatie parameters	Wijzigingen in de condities in de bodem (pH, T°), Intermitterend pompen en injecteren, recirculatie van het grondwater, injectie van tensioactieve agentia, installeren van nieuwe onttrekkings- of injectieputten (stagnatiezones), juiste filterdieptes, bioaugmentatie …
Rapportage	Planning voor het indienen van het eerste tussentijds rapport en de volgende tussentijdse rapporten
	Zijn de verzamelde gegevens voldoende voor het opstellen van deze rapporten?
Zijn de verzamelde gegevens voldoende om deze fase uit te voeren?	Zijn de verzamelde gegevens voldoende om deze fase uit te voeren?
Risicostudie ingeval van aanpassing van de doelstellingen	Zijn de verzamelde gegevens voldoende om deze fase uit te voeren?
Lange termijn monitoring (nazorg)	Dispositif de supervision : piézomètres d'échantillonnage
	Paramètres de la supervision : teneurs en polluants et produits de dégradation, paramètres permettant de suivre l'atténuation naturelle spontanée si prise en compte de cette dernière

16. Bibliografie

- Code van goede praktijk : in-situ chemische oxidatie – Draft, OVAM, 2014
- Code van goede praktijk : in-situ Bioremediatie van Petroleumwaterstoffen, OVAM 2005
- Code van goede praktijk : Natuurlijke attenuatie, OVAM, 2003
- Air Sparging, A Project Manager's Guide, Keith Fileds et al., Battelle Press, 2002
- US EPA, Guidance on the Assessment and Monitoring of Natural Attenuation of Contaminants in groundwater » M.A. Carey et al., June 2000)
- Vacuum Vapor Extraction, Johnson Paul C. et al., Springer, 1994)
- Achilles, Veiligheid, gezonheid en milieuzorgsysteem voor on-site bodemsanering werken, OVAM 2001.
- Standaardprocedure Bodemsaneringwerken, Eindevaluatieonderzoek en Nazorg-versie oktober 2011, OVAM