

Code van Goede Praktijk 1

Pompen van vloeistof in de verzadigde zone van de bodem

Leefmilieu Brussel

Inhoud

1.	Inleiding	4
2.	Beschrijving van de techniek en de toegepaste technologische principes.....	5
3.	Beschrijving van de varianten.....	7
3.1.	Pompen gecombineerd met flushing	7
3.2.	Pompen en flushing met toevoeging van chemische stoffen (chemische stimulatie).....	7
3.3.	Tweefasige behandeling: verwijdering van puur product (drijfslag).....	9
3.4.	Tweefasig pompen van een zinklaag (DNAPL)	9
3.5.	Bioslurping	10
	Principles and Practices of Bioslurping » Matthew C. Place et al., Battelle Press, 2001	10
4.	Nagestreefde doelstellingen: pluim versus kern	11
5.	Verontreinigende stoffen en meest gunstige omstandigheden (kwalitatieve begrippen)	12
6.	Voorafgaandelijke toetsing van de technische haalbaarheid	14
6.1	Grenskaracteristieken van de verontreinigende stof(fen).....	14
6.2	Grenskaracteristieken van de te behandelen bodem	17
6.3	Grenskaracteristieken van de te beheren of saneren site	18
7.	Specifiek onderzoek van de haalbaarheid van de behandeling	19
7.1	Te meten parameters van de verontreinigende stof, van de bodem en de site.....	19
7.2	Belang van voorafgaande laboratoriumtesten	27
7.3	Belang van een piloottest en minimale karakteristieken van deze test.....	28
8.	Beschrijving van een type-installatie en installatieschema	31
8.1.	Doelstelling: afvangen van een pluim die zich in de richting van een gevoelige receptor verplaatst.....	31
8.2.	Doelstelling: hydraulisch afvangen van een pluim	31
8.3.	Doelstelling: behandeling van het verontreinigde gebied door pompen van grondwater.....	32
8.4.	De varianten.....	32
8.4.1	Pompen + injectie van water met of zonder toevoeging van stimulerende chemische additieven	32
8.4.2.	Tweefasige behandeling: verwijderen van een drijfslag	32
8.4.3.	Tweefasig pompen van een zaklaag (DNAPL)	33
8.4.4.	Driefasig pompen in geval van aanwezigheid van een drijfslag (bioslurping).....	33
9.	Beschrijving van de installatie die in werking zal worden gesteld.....	35
10.	Beheersing van veiligheid en stabiliteit en reductie van hinder : geur, geluid, stof.....	41
10.1	Punten waarmee rekening dient gehouden te worden.	41
10.1.1	Hinder voor de luchtkwaliteit	41
10.1.2.	Ontploffingsgevaar.....	41
10.1.3.	Geluidshinder	42
10.1.4.	Stabiliteitsrisico's voor gebouwen en naburige infrastructuur.	42
10.1.5.	Risico's voor naburige grondwaterwinningen	42
10.2	Conformiteit met bestaande wettelijke kaders	42
11.	Opvolging van de behandeling	44
11.1	Toezihtsmaatregelen: standaardmodel.....	44
11.1.1.	De nagestreefde doelstelling is het beheersen of de afbakening van de pluim van de verontreiniging.....	44
11.1.2.	De beoogde doelstelling is de behandeling van de pluim van de verontreiniging.....	46
11.2	Toezihtsmaatregelen: opvolgingsparameters en hun regelmatige opvolging.....	48
12.	Rapportering, optimalisatie en corrigerende maatregelen	51
12.1	Rapportering	51
12.2	Corrigerende maatregelen en optimalisatie	53

12.2.1 De nagestreefde doelstelling is het capteren of insluiten van de verontreinigingspluim	53
12.2.3 De nagestreefde doelstelling is de behandeling van een verontreinigingspluim	53
13. Validatiemetingen en beslissingsboom stopzetting-voortzetting van de behandeling.	56
14. Vervolgmetingen van mogelijk lange termijn (lange termijn validatie): maatregel en soorten metingen	58
15. Aanbevelingen met betrekking tot veiligheid en stabiliteit.....	60
15.1 Beknopte checklist voor de aannemers	60
15.2 Beknopte checklist voor experts bodemverontreiniging	64
16. Bibliografie.....	67

1. Inleiding

De hoofddetechniek heeft als titel "Pompen van vloeistoffen in de verzadigde zone van de bodem".

Deze richt zich hoofdzakelijk tot het pompen van verontreinigd grondwater en de behandeling ervan (Pump & Treat).

Deze behandelingstechniek kan met verschillende varianten in verband gebracht worden afhankelijk van de omstandigheden ter plaatse op de site. De voornaamste varianten die in dit document behandeld worden zijn:

- Flushing of de injectie van water in de bodem: het kan gaan om zuiver water of om gezuiverd water afkomstig van de zuiveringsinstallatie van het opgepompte grondwater
- Injectie van chemische stoffen (chemische stimulatie) in de bodem met als doel de desorptie of het vrijmaken van verontreinigende stoffen die weinig oplosbaar zijn in de vloeibare fase
- Tweefasige behandeling bij aanwezigheid van een drijfslaag (algemeen bekend als LNAPL, nl. light non aqueous liquid phase)
- Tweefasige behandeling bij aanwezigheid van een zaklaag (algemeen bekend als DNAPL, nl. dense non aqueous liquid phase)
- Bioslurping of driefasenbehandeling (water, puur product en bodemplucht) bij aanwezigheid van een drijfslaag (LNAPL).

De hier beoogde techniek onderscheidt zich van technieken die onder de term hulptechnieken vallen en daardoor aan aparte code van goede praktijk onderhevig zijn : het oppompen van grondwater in het kader van bemaling bij afbraak- en graafwerken en bovengrondse behandeling van grondwater.

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.



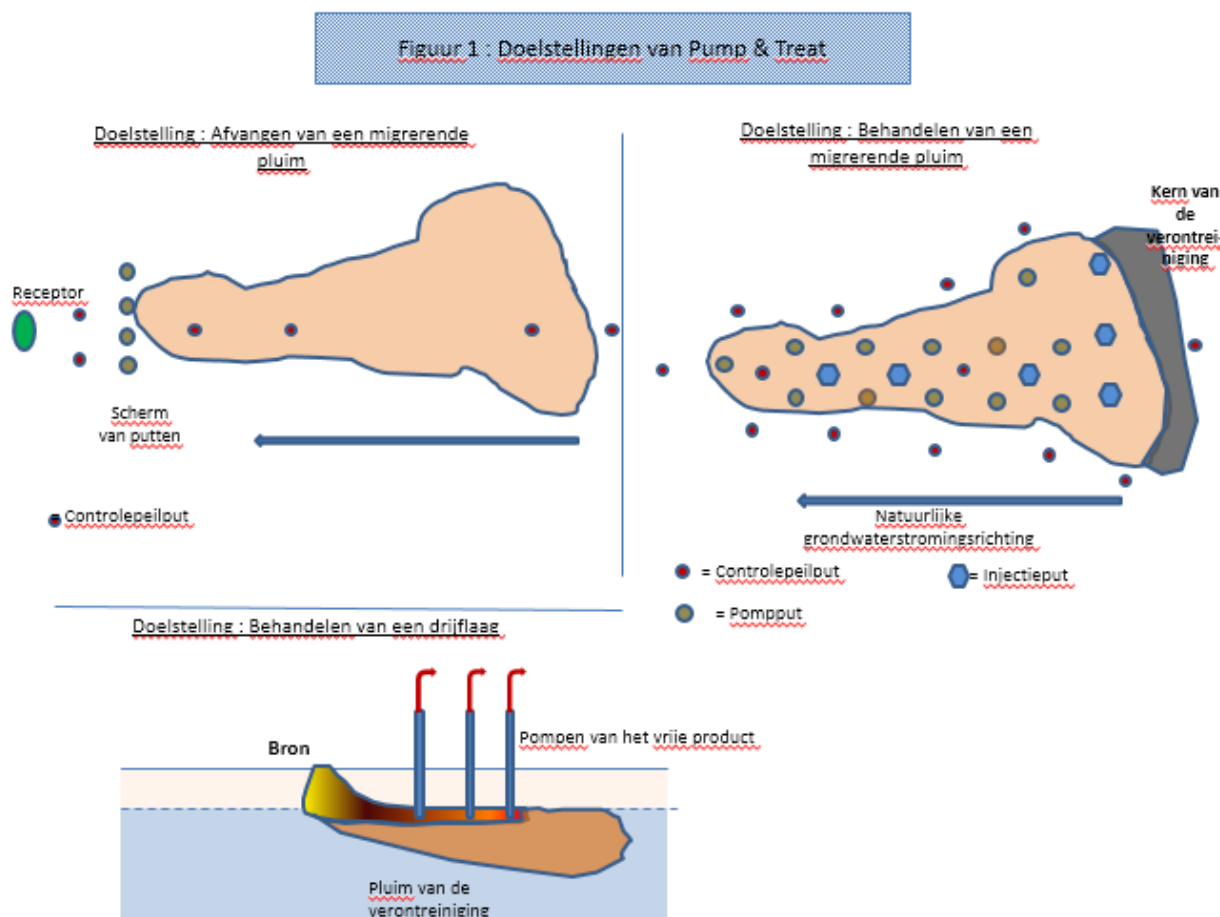
2. Beschrijving van de techniek en de toegepaste technologische principes

Pump and Treat beoogt de behandeling van één (of meerdere) verontreinigde waterlagen en/of het beheer van de hiermee samengaannde risico's.

De beoogde doelstellingen kunnen zijn: afzonderlijk of tegelijkertijd:

- het behandelen van de aanwezige verontreiniging in de kern (aanwezigheid van een drijf laag)
- het behandelen of inperken van de uitbreiding van een verontreinigingspluim die zich in een watervoerende laag verplaatst
- het afvangen van de verplaatsing van een verontreinigingspluim die zich in een waterlaag bevindt

Deze drie soorten doelstellingen zijn weergegeven in **figuur 1**.



Deze techniek impliceert gebruikelijkerwijs het installeren en in werking stellen van volgende installatie:

- Een pompinstallatie of grondwateronttrekkingsinstallatie die bestaat uit

- Eén of meerdere pompputten in de waterlaag die de actieve onttrekking van grondwater verzorgen en/of
- Eén of meerdere drainerende sleuven die het onderschepte water op een passieve wijze naar een pompplaats leiden (toezichtskamer, ...)

Het oppompen van het grondwater wordt verzekerd door één of meerdere pompen:

- Pompen die individueel ondergedompeld zijn in elke put of in elke sleuf
 - Vacuümpompen of aanzuig- of impulspompen opgesteld buiten de putten en sleuven, verbonden met één of meerdere putten of sleuven
- Een opvang van het opgepompte water waaruit dit grondwater wordt getransporteerd naar een waterzuiveringsinstallatie. De opvang wordt bewerkstelligd door individuele leidingen of door een netwerk van leidingen die uitmonden in één of meerdere putten, al dan niet uitgerust met buffer putten die stromingspieken kunnen opvangen. Afhankelijk van de toegepaste manier van pompen, zal de opvanginstallatie worden gevuld of worden leeggepompt.
Op verschillende plaatsen in het netwerk zijn debietmeters aanwezig die het onmiddellijke debiet evenals het cumulatief debiet weergeven van het water dat in de verschillende putten en sleuven wordt gepompt.
 - Een grondwaterzuiveringsinstallatie die aangepast is aan de verwachte debieten en aan de te behandelen verontreinigingen. De kwaliteit van het behandelde water moet, na doorstroming van de zuiveringsinstallatie, in overeenstemming zijn met de aanbevelingen van [Leefmilieu Brussel opgenomen in de code van goede praktijk 'Lozingsnormen in het kader van saneringswerken en risicobeheersmaatregelen'](#).
 - Een lozingspunt van het gepompte water na de behandeling in de zuiveringsinstallatie. Dit lozingspunt kan zijn:
 - Het openbare rioolnetwerk
 - Een deel van het oppervlaktewater: rivier, kanaal
 - Een installatie die herinfiltratie van water in de watervoerende laag bewerkstelligt ter hoogte van de werf

Het technologisch principe berust op het verwijderen van grondwater dat vervuild is met verontreinigende stoffen in oplossing (of in emulsie). Tegelijkertijd worden de verontreinigingen die zijn geadsorbeerd aan de vaste fase of ingekapseld in de vaste fase van de bodem, verwijderd, of ze nu in de verzadigde zone van de bodem aanwezig zijn dan wel in de capillaire laag die zich boven de watervoerende laag bevindt.

In het geval dat het de doelstelling is om de laag te behandelen, in de kern of in de pluim, dan kan de gebruikte techniek beschouwd worden als efficiënt in die mate dat, binnen een aanvaardbaar tijdsbestek en aan een aanvaardbare kostprijs, de objectieve waarden van het gehalte aan grondwater van de verzadigde zone van de bodem op een duurzame manier kunnen bereikt en behouden worden.

In het geval dat het de doelstelling is om de vervuilde pluim in te perken of af te vangen, kan de gebruikte techniek beschouwd worden als efficiënt als deze met een toereikende zekerheidsgraad en aan een aanvaardbare kost garandeert dat de horizontale of verticale migratie van de pluim vermindert. De notie tijd wordt dan minder relevant gezien de duurtijd van de interventie lang (enkele jaren) tot zeer lang (enkele decennia) kan bedragen.

In functie van de omstandigheden op de site zal het nuttig of noodzakelijk zijn om de pomptechniek te combineren met andere interventietechnieken: uitgraving of inkapselen van de kern van verontreiniging, het injecteren van oxidatiemiddelen, sparging, gestimuleerde biologische afbraak, ... om de verwachte prestatiecriteria (duurzaam verkrijgen van objectieve waarden) en efficiëntie criteria (respect voor aanvaardbare termijnen en kosten) te bereiken.

3. Beschrijving van de varianten

3.1. Pompen gecombineerd met flushing

De variant pompen + flushing verschilt van voorgaande variant (pump & treat) door het toevoegen van het aspect injectie in de bodem in de richting van de waterlaag.

Het nagestreefde doel is enerzijds :

- Het niveau behouden van de bovenkant van de watervoerende laag tijdens het pompen om stabiliteitsproblemen van gebouwen te vermijden en om verontreiniging van de bodem te vermijden in geval van de aanwezigheid van een LNALP laag ten gevolge van grondwaterverlaging
- Een voldoende debiet behouden van het pompen van grondwater en opgeloste verontreinigingen.
- Het vrijmaken van verontreinigende stoffen die ingesloten zijn in de poriën en holtes van de bodem bewerkstelligen, ten gevolge van een grote stromingssnelheid van het grondwater in de bodem.

Het geïnjecteerde water kan proper water zijn, afkomstig van het distributienetwerk of, in minder voorkomend geval, afkomstig van oppervlaktewater of water afkomstig van het zuiveringsstation op de site (herinfiltratie).

Wat betreft de variant beschreven in hoofdstuk 2, worden putten of infiltratiesleuven geïnstalleerd bij de te behandelen zone en /of interceptiesleuven in de directe omgeving van de pluim, of tussen de pompputten.

Deze techniek impliceert dat met volgende additionele voorzorgsmaatregelen dient rekening gehouden te worden.

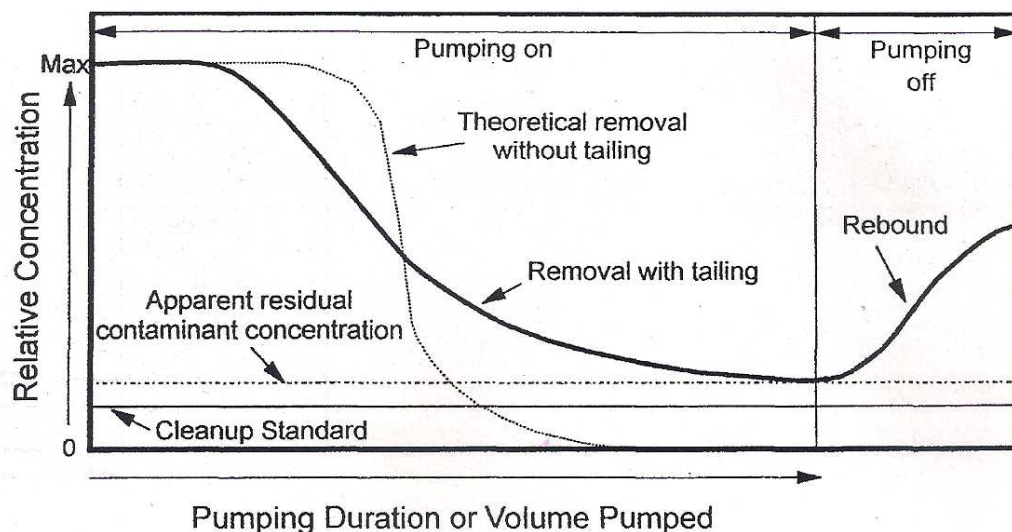
- Erop toezien dat de injectie- of infiltratiedebieten aangepast zijn aan het hydraulische conductiviteit van de bodem (overstromingsrisico)
- Erop toezien dat de injectie- of infiltratiedebieten geen verontreinigende stoffen verplaatsen buiten de werkingszone van de pomp (met inbegrip van verontreinigende stoffen die niet bij de interventie voorzien waren)

3.2. Pompen en flushing met toevoeging van chemische stoffen (chemische stimulatie)

Chemische stimulatie tijdens het pompen in een waterlaag beoogt het verminderen van de behandelingstermijn die nodig is om de vooropgestelde doelen te bereiken met betrekking tot de concentratie aan verontreinigende stoffen.

Het is immers zo dat, tijdens een behandeling door middel van pompen, vaak een graduele daling van de gehalten aan verontreiniging wordt waargenomen in het opgepompte water die leidt tot een constante waarde, die mogelijks nog de doelstelling overschrijdt (zie **figuur 2**)

Figuur 2 : Typische evolutie van verontreiniging bij een behandeling door pump and treat (USEPA, Methods for Monitoring Pump and Treat Performances, June 1994)



De redenen voor de beperking van de afname van de opgepompte gehalten kunnen van fysische aard zijn:

- Aanwezigheid in de waterlaag van zones of lenzen met verschillende hydraulische conductiviteit (kleilenzen worden vaak teruggevonden in de alluviale bodem in de Regio Brussel Hoofdstad), wat ervoor zorgt dat, na snelle verwijdering van de verontreinigende stoffen in de zones met goede hydraulische conductiviteit, het pompen van verontreinigende stoffen aanwezig in zones met een lage hydraulische conductiviteit begrensd wordt door diffusie naar beter doorlaatbare zones.

Of redenen met een fysisch-chemische oorzaak

- De verontreinigende stof wordt geabsorbeerd op de vaste fase: de doorstroming van de verontreinigende stof in de richting van de put wordt dan vertraagd omwille van de interactie van de verontreinigende stof met de reagerende oppervlakten van de vaste fase. Voor de geladen (kationen en anionen) anorganische verontreinigende stoffen kan de verplaatsing van deze stoffen ten gevolge van desorptie dan afhankelijk zijn van verschillende factoren zoals de pH waarde, de Eh (Redoxpotentiaal van de omgeving), de aanwezigheid van andere ionen die in competitie zijn voor de beschikbare adsorptiesites
- Het gehalte aan verontreinigende stof in het grondwater wordt gecontroleerd door neerslagvorming (kristallijn, amorf, anorganisch of organisch (vast naftaleen, kopercarbonaat, ...)).
- Het gehalte aan verontreinigende stof in het grondwater wordt bepaald door een fase van puur product (NALP), drijfslaag of zinklaag. Deze fase kan aanwezig zijn in de poriën van de bodem (capillaire zone), in holtes, of in de vrije bewegende laag.

Om de verplaatsing en verwijdering van een verontreinigende stof te versnellen door te pompen kunnen de stoffen die in de waterlaag geïnjecteerd worden, van verschillende aard zijn:

- verbindingen (voornamelijk ionisch) die de adsorptieplaatsen innemen van de verontreinigende stoffen waardoor deze vrij komen in het grondwater
- Complexe verbindingen die het oplossen van de verontreinigende stoffen verhogen (metaal-ionen)

- Verbindingen die een rol spelen als co-solvent (voornamelijk alcoholische verbindingen)
- Spannings-actieve stoffen die de oppervlaktespanning tussen de molecules van de verontreinigende stof en de vaste fase en hierdoor de oplosbaarheid van hydrofobe verbindingen verhogen. De verlaging van de oppervlaktespanning reduceert de capillaire krachten die de fasen van puur product in de microporiën van de bodem omsluiten en verhoogt hierdoor de mobiliteit van de NAPL. In het geval van een vloeibare fase (DNAPL), kan dit effect als ongewenst aanschouwd worden rekening houdend met de toegenomen risico's op verticale migratie van de verontreinigende stof.
- Reducerende of oxiderende verbindingen die de oxidatietoestand van de ionische verontreinigende stoffen wijzigen en ten gevolge daarvan hun beschikbaarheid om getransporteerd te worden door advectie in het grondwater.
- Verbindingen die oplossen van neerslagen bevorderen (voornamelijk zuurtegraadverhogende stoffen)
- Ioniserende stoffen (alkalische verbindingen die de ionisatie van zwakke zuren bevorderen bijvoorbeeld fenol).

Gezien spannings-actieve stoffen veruit de meest gebruikte chemische stoffen zijn, behandelen we enkel deze stoffen in de volgende gedeelten van de tekst.

3.3. Tweefasige behandeling: verwijdering van puur product (drijfslag)

Deze methode beoogt het verwijderen van een vrije drijvende fase van puur product (LNALP) in de kern van de vervuiling. De methode kan op zichzelf gebruikt worden maar ook als aanvulling aan een pomp- of zuiveringsvariant met als doelstelling de migratie van een pluim te behandelen of in te sluiten. Twee types van installatie kunnen worden aangewend, hetzij in pompputten, hetzij in interceptiesleuven (zie figuur 1.5) :

- Skimming maakt gebruik van skimmers waarvan het meest courante het scavenger systeem is dat gebruik maakt van een hydrofobe/oleofiele drijvende filter. Andere systemen werden ontwikkeld om een skimming uit te voeren in putten met kleine diameter, zoals het ODS® systeem dat recuperatie van drijfslagen met diktes van enkele mm tot enkele m toelaat, met lage energiekosten. Pneumatische pompen kunnen ook LNAPL recupereren uit putten met kleine diameter. Voor ondiepe watervoerende lagen kunnen skimmers aan een koord of absorberende kousen gebruikt worden. Deze toestellen trachten de drijfslag te recupereren terwijl er zo weinig mogelijk grondwater wordt opgepompt, wat een hoge kost van nabehandeling heeft. Gezien de lage debieten waarmee deze skimmers pompen, veroorzaken ze geen verlaging van het grondwaterniveau en dus geen verontreiniging van de bodem door het vrije product ten gevolge van versmering. Rekening houdend met het feit dat er geen verlaging van de watertafel optreedt en geen hydraulische gradiënt wordt gecreëerd ter hoogte van de putten is de actieradius van het skimtoestel klein.
- Tweefasig pompen: ofwel door middel van één enkele pomp onder het stationaire niveau van de drijfslag of door twee pompen: een pomp die enkel water oppompt teneinde een afpompijgkegel te creëren en een oproepzone en een oppervlakkige pomp die enkel de drijfslag wegpompt. De hoeveelheden opgepompt water, al dan niet verontreinigd, waarmee rekening moet worden gehouden zijn niet te verwaarlozen, waardoor er hiermee hoge kosten gepaard gaan per eenheid gerecupereerd puur product.

3.4. Tweefasig pompen van een zinklaag (DNAPL)

Deze behandeling beoogt het verwijderen van een zinklaag door pompputten (en in mindere mate door sleuven).

Deze techniek wordt zelden toegepast gezien de moeilijkheid om de omvang van de DNAPL in 3D te bepalen en om de richting van de migratie te bepalen, vooral wanneer de zinklaag zich op een grotere diepte bevindt.

3.5. Bioslurping

Bioslurping behelst het gelijktijdig verwijderen van LNAPL aan de oppervlakte van een waterlaag en de bodemlucht in de onverzadigde zone van de bodem. Zoals men kan opmaken uit **figuur 3**, bestaat de installatie die deze behandelingsmethode toelaat typisch uit:

- Een extractieput die een filterlengte heeft van ongeveer 2 m : 1 m boven en 1 m onder het niveau van de bovenkant van de watervoerende laag
- Een zuigtube waarvan de basis zich (na aanpassing) bovenaan de waterlaag bevindt
- Een waterdicht deksel dat onderdruk toelaat in de pompput
- Een vacuümpomp en een evacuatiernetwerk dat toelaat om het zuivere product, het grondwater en het bodemgas weg te leiden naar de zuiveringsinstallatie
- Een zuiveringsinstallatie die ervoor zorgt dat de drie opgepompte fasen gesplitst blijven (puur product, grondwater en gas) en deze vervolgens behandelt alvorens ze te verwijderen

Het aanbrengen van een vacuüm in de putten zorgt tegelijkertijd voor de migratie van het LNAPL naar de pompput en voor het creëren van een hydraulische gradiënt. Het oppompen van het gas uit de onverzadigde zone beoogt vooral om de aanvoer van O₂ te verzekeren en hierdoor de biologische afbraak van de verontreinigende stoffen te bevorderen. Het is niet het hoofddoel om de vluchtige verbindingen die zich in de onverzadigde zone bevinden door het pompen aan de bodem te onttrekken.

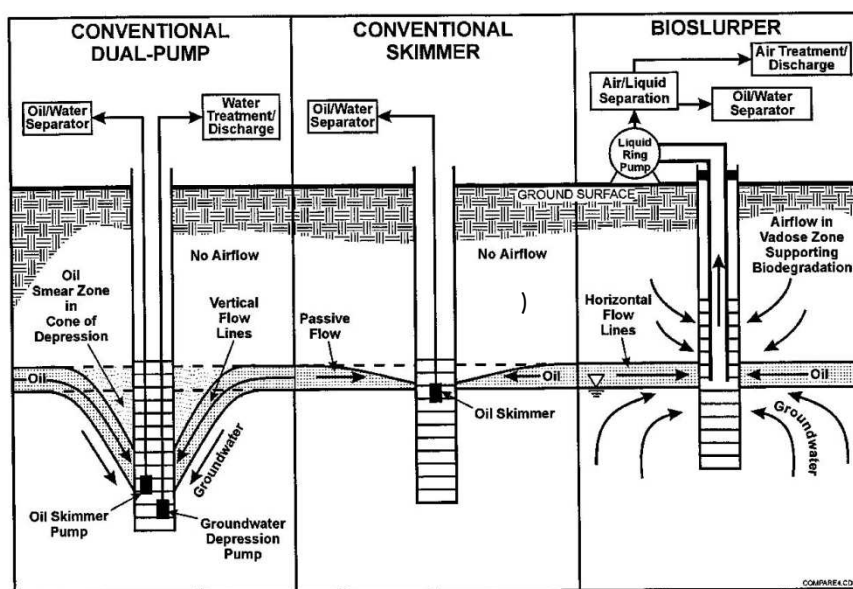


FIGURE 3 Comparison of pumping, skimming, and bioslurping methods for LNAPL recovery

Principles and Practices of Bioslurping » Matthew C. Place et al., Battelle Press, 2001

4. Nagestreefde doelstellingen: pluim versus kern

De techniek van pompen en zuivering (pump and treat) richt zich voornamelijk tot de verontreinigingspluim in een watervoerende laag. Zoals eerder vermeld, kan de nagestreefde doelstelling de behandeling van de pluim zijn, of het inperken van de uitbreiding ervan door hydraulische afscherming ofwel het afvangen van de verplaatsing van de pluim.

De varianten van deze techniek, te weten pump and treat gecombineerd met flushing door injectie van water, met of zonder toevoeging van chemische stoffen, het tweefasig pompen en bioslurping, richten zich meer bepaald tot de kern van de vervuiling waar het gehalte van de verontreiniging groot is, bestaande uit puur product of uit grote hoeveelheden geabsorbeerd product.

5. Verontreinigende stoffen en meest gunstige omstandigheden (kwalitatieve begrippen)

De techniek van pump and treat kan met gunstig gevolg toegepast worden voor de behandeling van een watervoerende laag in de volgende omstandigheden:

- De te behandelen verontreinigende stof is oplosbaar in water
- De verontreinigende stof wordt niet sterk geabsorbeerd door de vaste fase van de bodem.
- De bron van de verontreiniging wordt op een dergelijke manier uitgeschakeld dat er geen toestroming van de verontreiniging in de laag meer mogelijk is
- Waterlaag met goede hydraulische conductiviteit
- Voldoende krachtige waterlaag met matige seizoensschommelingen
- Homogene waterlaag of, bij aanwezigheid van verschillende lagen en lenzen, kleine verschillen in de hydrodynamische eigenschappen van de verschillende lagen, afwezigheid van preferentiële stromingskanalen ten gevolge van buizen en ondergrondse infrastructuur
- Afwezigheid van lenzen of turflagen met sterk absorberend vermogen voor hydrofobe organische stoffen
- De vuilvracht is op een homogene manier verdeeld, met afwezigheid van drijf- of zinklaag, of opgesloten in holtes op een zodanige manier dat de afname van de gehalten in de watervoerende laag een voorspelbare weg volgt zonder retardatieverschijnselen, asymptotische sprongen en/of rebound na stopzetten van het pompen

Tabel 1 hieronder, gebaseerd op het document van OVAM Code van Goede Praktijk – Pump and Treat, vat de kwalitatieve beoordeling samen van de haalbaarheid van een interventie door pump and treat. De hydraulische conductiviteit van de bodem, die een primaire discriminerende rol speelt, werd niet in de tabel opgenomen. Deze voorstelling is dus enkel geldig voor een hydraulische conductiviteit hoger dan 10^{-6} – 10^{-7} m/s.

Tabel 1 : gebaseerd op het OVAM-document Codes van Goede Praktijk – Pump & Treat, vat de kwalitatieve appreciatie samen (karakteristieken van de pollutant en structuur van de aquifer) van de haalbaarheid van een pump and treat-interventie

Tabel 1: Haalbaarheidsschaal van een behandeling van het grondwater door middel van pompen en zuivering van het grondwater					
Hydrologie	Verontreiniging				
	Wateroplosbaar en mobil Vb: BTEX in een zandige bodem	Wateroplosbaar maar sterk geabsorbeerd Vb: Aromatische koolwaterstoffen in een venige bodem	Niet oplosbaar en sterk geabsorbeerd Vb: PCB in een venige bodem	Vrije fase als zaklaag LNAPL	Vrije fase als drijfslag DNAPL
Eén homogene laag	1-2	2-3	4	2-3 *	3 *
Verscheidene homogene lagen	1-2	2-3	4	2-3 *	3 *
Eén heterogene laag	2	3	4	3 *	4 *
Verscheidene heterogene lagen	2	3	4	3 *	4 *
Gesloten/gebarend materiaal (kalksteen, ...)	3	3	4	4 *	4 *

1, 2, Haalbaarheidsschaal gaande van 1 = gemakkelijk tot 4 = moeilijk tot weinig realistisch

* :De behandeling door middel van pompen dient begeleid te worden door een andere variant of een andere techniek

Wanneer men de variant pompen en flushing in beschouwing neemt (met of zonder chemische stimulatie), zijn de meest gunstige omstandigheden de volgende:

- Voldoende infiltratiedebiet in de putten of sleuven.
- Afwezigheid van dichtslibben van de infiltratie-installaties ten gevolge van neerslag van verbindingen die zich in het geïnjecteerde water bevinden (oxide van ijzer, mangaan, carbonaten, zwevende deeltjes,...) of ten gevolge van bacteriële activiteit.
- Verwaarloosbare microporositeit zodanig dat de verplaatsing van het puur product van het capillaire gebied mogelijk is rekening houdend met de migratiesnelheid van het water in de bodem.
N.B. In geval van het gebruik van spannings-actieve stoffen moet de mogelijkheid om het geheel, of bijna het geheel aan verontreinigende stoffen te onderscheppen, aangetoond worden. Gezien de zuivering het gebruik van tweefasig pompen impliceert, moet er een additioneel voordeel in overweging genomen worden:
- Lage viscositeit van het puur product zodanig dat diens migratiesnelheid verhoogd wordt.

Wanneer de behandeling bovendien een component van luchtextractie uit de bodem impliceert door venting en bio-venting, dienen volgende elementen in overweging genomen te worden als gunstige omstandigheden:

- Aanwezigheid van de verontreinigde zone in de onverzadigde zone op een diepte van meer dan 1,5 – 2 m of aanwezigheid van een ondoorlaatbare verharding aan het oppervlak van de bodem
- Vluchtige verontreinigende stof (dampspanning en verhoogde constante van Henry) voor “venting”
- Verontreinigende stof die makkelijk biologisch afbreekbaar is in aanwezigheid van zuurstof en voedingselementen voor bacteriële flora.

N.B. Aspecten die verband houden met extractietechnieken van dampen uit de bodem (Soil Vapor extraction) en van Bioventing zijn opgenomen in andere codes van goede praktijk, waardoor deze niet verder behandeld worden in dit document.

6. Voorafgaandelijke toetsing van de technische haalbaarheid

Ter herinnering wordt in dit gedeelte beroep gedaan op volgende concepten:

- Snelheid van Darcy van een fluïdum in een poreus milieu in m/s :

$$V = K \cdot \frac{\Delta H}{\Delta L}$$
 waarbij
- K = hydraulische conductiviteit van de omgeving in m/s
- De term $\Delta H/\Delta L$ vertegenwoordigt de hydraulische gradiënt in m/m
- Bewegingssnelheid van het grondwater in de poriën in m/s
- $V_p = \frac{V}{n_e}$ waarbij n_e de effectieve porositeit is, hetzij het volume met betrekking tot de bodem die effectief deel uitmaakt van de ondergrondse watercirculatie
- De coëfficiënt van vaste-vloeibare verdeling K_d uitgedrukt in Kg/m³ :
- $K_d = \frac{C_s}{C_w}$ waar C_s het gehalte van de verbinding of van het element vertegenwoordigt in het vaste gedeelte van de bodem in kg/m³ wordt uitgedrukt en waarbij C_w staat voor het gehalte van hetzelfde element in de vloeibare fractie van de bodem in kg/m³.
 Voor organische verbindingen, kan K_d benaderd worden door volgende relatie:

$$K_d = K_{oc} \cdot f_{oc}$$
 waarbij K_{oc} de affiniteit vertegenwoordigt van de verbinding voor een organische fase (in kg/m³) die wordt bepaald door laboratoriumtests (tests van octanol/water partiticoëfficiënt) en de term f_{oc} vertegenwoordigt het gedeelte aan organische koolstof in de bodem (kg/kg).
- De migratiesnelheid van een verontreinigende stof in de bodem wordt weergegeven door de relatie (in m/s)

$$V_c = \frac{V_p}{R}$$
 waarbij R de retardatiefactor is, geschat als volgt:

$$R = 1 + \rho_b \cdot \frac{K_d}{n}$$
 waarbij de term ρ_b de zichtbare dichtheid van de bodem vertegenwoordigt in kg/m³ en de term n de totale porositeit van de bodem (m³/m³).

N.B. :

Om consistentie te verzekeren worden alle fysische eenheden in dit document vertegenwoordigd in het systeem MKSA

6.1 Grenskaracteristieken van de verontreinigende stof(fen)

De limiet van de oplosbaarheid van een verbinding die men uit een waterlaag wenst te verwijderen door te pompen is een parameter die moeilijk te bepalen valt. Het is immers zo dat, voor de koolwaterstoffen en andere organische hydrofobe verbindingen de gemeten gehalten in het grondwater erg vaak hoger zijn (in meerdere grootte-orden) dan de oplosbaarheidsgrenzen,

wegens de aanwezigheid van diffuse suspensies die het resultaat zijn van onder andere, microbiële activiteit. Voor de organische verbindingen en ioniseerbare mineralen (zoals bv. fenolhoudende verbindingen) hangt de oplosbaarheid af van de pH van het grondwater. Voor de metaalverbindingen hangt de oplosbaarheid af van de speciatie, die op haar beurt afhangt van parameters zoals de pH, de redoxpotentiaal EH, de aanwezigheid van ionen en complexenvormende molecules, ... Anderzijds, zal een weinig oplosbare verbinding niet in voldoende grote hoeveelheden aanwezig zijn in grondwater om de streefwaarde van de behandeling te overschrijden.

Het bepalen van de grenswaarde van de factor K_d is ook geen eenvoudige oefening omwille van dezelfde redenen als degene hierboven beschreven. De aanwezigheid van emulsies of van « diffuse wolken » in de watervoerende lagen verklaart de aanwezigheid van hogere gehalten aan koolwaterstoffen dan de voorspelde gehalten op basis van de K_{oc} waarden verkregen in het laboratorium. Voor de verbindingen die zouden kunnen teruggevonden worden in verschillende scheikundige vormen (oxidatiestaat, lading, complexvorming) kunnen daarentegen de K_d waarden zoals beïnvloed door fysisch-chemische parameters van het grondwater geschat worden door verschillende voorspellende vergelijkingen die rekening houden met pH, redoxpotentiaal,... Het is daarbij nuttig om rekening te houden met volgende paradox: een molecule met de eigenschap van een zwakke K_d zal mobiel zijn in de bodem en vatbaar voor verplaatsing en eliminatie ten gevolge van een pompbehandeling, terwijl een molecule met een sterke K_d waarde niet mobiel zal zijn, maar ook geen bedreiging zal zijn rekening houdend met de zeer lage gehalten die in het grondwater zullen gemeten worden.

Op een realistische manier ligt het voor de hand dat een behandeling van de watervoerende laag door pompen moet voorzien worden indien de te verwijderen verbinding gekarakteriseerd is door, in « standaard » omstandigheden, een retardatiefactor ten opzichte van het grondwater die lager is dan 10. Het is immers zo dat het behalen van de doelstellingen van de pompbehandeling in het algemeen slechts gerealiseerd wordt binnen redelijke tijdsspanne na het pompen van een volume gelijk aan 5 – 50 poreuze volumes. Voor een retardatiefactor die hoger ligt dan 10, valt het aantal te pompen poreuze volumes buiten dit « redelijke » interval en het behalen van realistische tijdsspannen kan dan enkel behaald worden door te vermenigvuldigen met het aantal verwijderingsputten of -sleuven. Onder standaard omstandigheden van de bodem (zichtbare densiteit van 1.600 kg/m³, totale porositeit = 4) impliceert dit een vertraging <10 een K_d waarde <2,25.10⁻³ m³/kg.

Voor de variant van het tweefasig pompen dient men ook rekening te houden met de parameter dynamische viscositeit. Het is zo dat de migratie van een drijvende fase kan geschat worden aan de hand van volgende relaties:

$$V_n = K_n \cdot k_{rn} (S_w, S_n) I_n \text{ waarbij}$$

V_n de snelheid van Darcy voorstelt voor de bovendrijvende fase in m/s

K_n is de geleidbaarheid van de watervoerende laag voor de vrije fase in m/s

K_{rn} is de factor van relatieve geleidbaarheid gedurende de verzadiging van de capillaire laag respectievelijk in water S_w en in puur product S_n , variërend van 1 (100 % verzadiging door de vrije fase) tot 0 (100 % verzadiging door water). De variatie van de relatieve geleidbaarheid met de verzadigingsgraad in de capillaire laag wordt voorgesteld in de grafiek in **figuur 4**

I_n is de hoogtegradiënt voor de bovenkant van de drijf laag in m/m

De term K_n daarentegen wordt berekend aan de hand van volgende relatie:

$$K_n = K_w \cdot \frac{\rho_n}{\mu_n} \cdot \frac{\mu_w}{\rho_w} \text{ waarbij}$$

K_w de hydraulische conductiviteit vertegenwoordigt van de waterhoudende laag , uitgedrukt in m/s

ρ_n en ρ_w staan respectievelijk voor de volumemassa van de vrije fase en van het water , uitgedrukt in kg/m³

μ_n en μ_w staan respectievelijk voor de dynamische viscositeit van de vrije fase en van het water , uitgedrukt in Pa.s

De parameter van relatieve geleidbaarheid die afhangt van de verdeling van omvang van de poriën (van de bevochtigingscurve van de bodem), van de verzadigingsgraad in water en in vrije fase van de capillaire laag en van de dikte van de vrije laag, ... is een ongepaste parameter om op een precieze manier te werken en vereist laboratoriumanalyses op stalen van de grond waarvan de structuur bewaard bleef.

N.B. De term μ/p uitgedrukt in m².s⁻¹ wordt in de literatuur vaak gebruikt onder de term kinematische viscositeit.

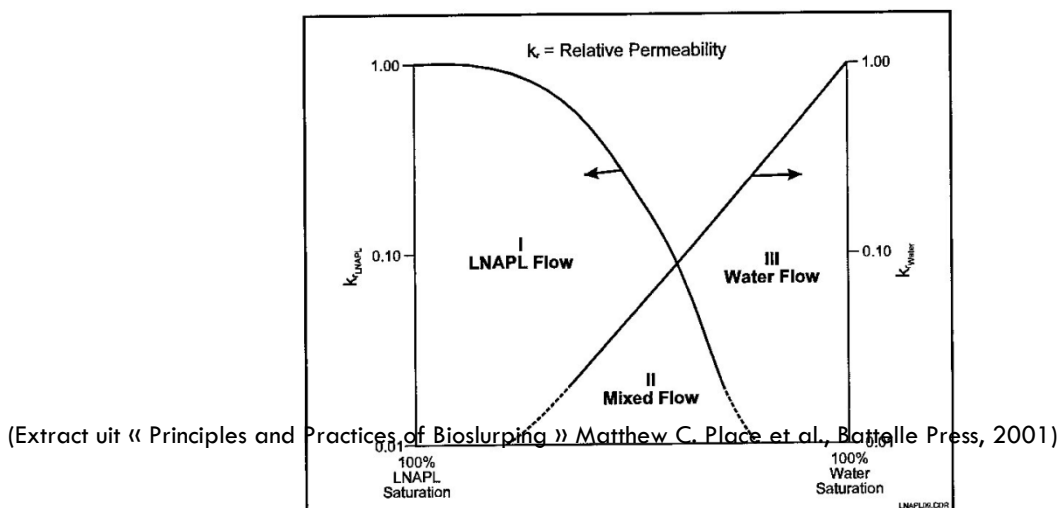


FIGURE 4. Hypothetical relative permeability curves for water and LNAPL in a porous medium (Modified from U.S. EPA, 1995)

Tabel 2 hieronder stelt de ratio K_n/K_w voor, voor verschillende verbindingen die vaak voorkomen in de vorm van vrije drijvende fase

Tabel 2 : Viscositeit van de verschillende organische verbindingen en geleidbaarheid van de waterlaag voor hun vrije fase.

Parameter	Dynamische viscositeit in Pa.s	Massavolume in Kg/m ³	Kn/Kw
Water 20 °c	1,00E-03	1,00E-03	1,00E+00
Benzine	5,29E-04	7,50E-04	1,42E+00
Kerosine JP5	1,50E-03	8,20E-04	5,47E-01
Benzeen	6,40E-04	8,80E-04	1,38E+00
Tolueen	5,90E-04	8,70E-04	1,47E+00
Diesel	1,25E-02	8,90E-04	7,12E-02
Zware fuel	4,00E-01	9,30E-04	2,33E-03
Smeerolie SAE 10	8,80E-02	9,30E-04	1,06E-02

Het is zonder meer duidelijk dat in standaard omstandigheden de haalbaarheid van een tweefasige behandeling door pompen van een vrije drijfslag in het gedrang komt als deze fase wordt gekenmerkt door een verhouding μ/p (kinematische viscositeit) die 10 tot 20 keer hoger ligt dan die van water.

6.2 Grenskaracteristieken van de te behandelen bodem

Tabel 3 hieronder herneemt de bodemparameters die worden beschouwd als priori kritisch om een behandeling door pompen te overwegen.

Tabel 3 : Kritische parameters van de bodem die toelaten om een behandeling door pompen te overwegen.

Bodemeigenschappen	Parameter	Eenheid	Grenswaarde
Hydraulische conductiviteit van de watervoerende laag (homogene laag)	Hydraulische conductiviteit K	m/s	> 5. 10 ⁻⁷
Verskil in hydraulische conductiviteit tussen verschillende lagen bij een heterogene aquifer	Verhouding tussen hydraulische conductiviteiten K1/K2	-	< 10 à 20
Dikte van de watervoerende laag	Dikte	m	> 1,5
Seizoenale schommelingen	Variatie in grondwaterstand tgv seizoenale schommelingen	m	< 1 m
Diepte van de grondwatertafel	Grondwaterstand ten opzichte van maaiveld	m	< 40
Lenzen of venige lagen met sterk adsorberend vermogen	Aanwezigheid van veen		Afwezigheid van lenzen of venige lagen
Gehalte in Ijzer, Mangaan, carbonaten in het opgepompte grondwater wat kan leiden tot verstopping van de zuiveringsinstallatie	Gehalte in Ijzer, Mangaan, carbonaten	mg/l	Risico op neerslagvorming afhankelijk van pH, Eh, ... te berekenen via geochemische rekenmodules

Bij Tabel 3 dienen volgende commentaren in beschouwing te worden genomen:

- De grenswaarde van de diepte van de te behandelen waterlaag wordt niet vastgelegd op basis van technische beschouwingen, maar wel op basis van de energiekost om het verontreinigde water naar de oppervlakte te brengen.

Indien de behandeling van de laag berust op het bewerkstelligen van de variant van het injecteren van water met of zonder chemische stoffen, dan zijn volgende parameters ook kritiek:

- De infiltratiecapaciteit van de bodem dient voldoende hoog te zijn om de laag op voldoende wijze te voeden met water en/of met stimulerende stoffen. De injectiedebieten dienen minstens gedeeltelijk de gepompte debieten te compenseren. Het vastleggen van een grenswaarde voor de infiltratiecapaciteit is niet realistisch gezien er verschillende injectiewijzen mogelijk zijn (verloren sleuven, injectieputten,) waarvan de prestaties afhankelijk zijn van verschillende parameters: geleidbaarheid van de onverzadigde bodem, verticale hydraulische conductiviteit, horizontale hydraulische conductiviteit,
- Indien de her-injectie van opgepompt en behandeld water wordt gepland, moet met volgende fysisch-chemische kritische parameters rekening gehouden worden: (Extract uit het document van OVAM « Code van Goede Praktijk – Pump and Treat ») om de risico's op dichtslibben van de herinjectie-eenheden te verminderen :

Tabel 4 : Kritische parameters om water opnieuw te infiltreren

Parameters van te herinfiltreren water	Eenheid	Grenswaarde
Ijzer	mg/l	0,1
Mangaan	mg/l	0,1
Methaan	mg/l	0,1
Zuurstofgehalte	mg/l	0,01
Carbonaatgehalte (verzadigingsindex van Langeleir)	-	0
Biomassa of BOC (beschikbaar organisch koolstof)	µg BOC/l	10
Gehalte in oplossing - MFI (Membrane filter index) *	s/l ²	3
* 1 MFI komt per definitie overeen met de geobserveerde neerslagsnelheid op een standaardmembraan (<50µm) met een oppervlakte van 1,38.10 ⁻³ m ² , met een drukval van 2 bars, voor water met een viscositeit van 1,3 10 ⁻³ Pa.s, en een infiltratiesnelheid van 1m/u		

6.3 Grenskaracteristieken van de te beheren of saneren site

- Omvang van de site : de te behandelen site moet omvangrijk genoeg zijn om de pompinstallatie en de waterwinning alsook de zuiveringsinstallatie van de opgepompte vloeistoffen en eventueel de herinjectie-installatie te kunnen huisvesten.
- Stabiliteitsrisico : de aanwezige infrastructuur noch de onmiddellijke omgeving ervan zijn onderhevig aan stabiliteitsproblemen in geval van het verlagen van het grondwaterniveau van de watervoerende laag.

- Gevoelige receptoren: Op de site noch in de onmiddellijke omgeving ervan bevinden zich gevoelige receptoren die snel kunnen getroffen worden door afvang of insluiting van de pluim van de vervuiling noch in het geval van injectie van stimulerende chemische stoffen.
- Gevoelige omgeving: Op de site noch in de onmiddellijke omgeving ervan bevinden zich personen of activiteiten die gehinderd kunnen worden door de pompoperaties: geluid van de pomp en de zuiveringsinstallatie, geurhinder, risico op verspreiden van dampen,...
- De mogelijkheid om het gezuiverde grondwater en andere producten resulterend uit de zuivering, te kunnen lozen: aanwezigheid van en toegang tot het rioleringsnetwerk, aanwezigheid van oppervlaktewater, ...
- Bezettingsgraad van de onderbodem: verwaarloosbare aanwezigheid van begraven infrastructuur op de site of in de onmiddellijke omgeving die de watercirculatie in een voorkeursrichting sturen (netwerk van gas-, water-, elektriciteitsdistributie, optische kabels, riolering ...) of andersom, bestaande uit hindernissen voor de circulatie (metronetwerk, spoornetwerk, ...)
- Afwezigheid van een belangrijke turflaag die ingrijpen in de laag verhindert rekening houdend met het risico van zettingen.

7. Specifiek onderzoek van de haalbaarheid van de behandeling

7.1 Te meten parameters van de verontreinigende stof, van de bodem en de site

Tabellen 5A, 5B en 5C stellen de parameters voor, gemeten en/of gekwalificeerd alvorens over te gaan tot een behandelingsprogramma van verontreinigd grondwater via pompen.

Deze tabellen voorzien een checklist van gegevens die verworven dienen te worden, hetzij tijdens de opeenvolgende onderzoeksfases (verkennend onderzoek, gedetailleerd onderzoek, risicostudie), hetzij bij het opstellen van het [voorstel, of voorafgaand aan de werken indien ze geen voorstel vereisen](#).

In deze tabellen wordt een onderscheid gemaakt tussen twee niveaus van vereiste informatie:

- Parameters waarvan de meting of schatting vereist wordt in alle gevallen.
- Parameters waarvan de meting of schatting nuttig kan zijn.

Twee soorten van omstandigheden worden ook in overweging genomen:

- Kleine interventiewerven
- Grote interventiewerven

Dit onderscheid baseert zich niet op het criterium van de omvang van het perceel of van de omvang van de bron van de vervuiling, maar wel degelijk op de schaal van de interventie-oppervlakte. Het is immers zo dat een kleine site, zoals een atelier van chemische reiniging of bijvoorbeeld een benzinestation aan de oorzaak kan liggen van een grote verontreinigingspluim terwijl integendeel, een grote site of een groot perceel een zeer beperkte verontreiniging kan omsluiten of veroorzaken. Per interventie-oppervlak moet men trachten de omvang van de te behandelen, te bepalen, in te perken zone te bepalen (zone waar het gehalte > interventiewaarde of terugsaneerwaarde).

Op arbitraire wijze wordt volgens onderscheid gemaakt:

- Kleine werf: omvang van de zone $\leq 1.000 \text{ m}^2$
 - Grote werf: omvang van de $> 1.000 \text{ m}^2$
- naast dit oppervlaktecriterium, moeten volgende bezwarende omstandigheden in acht genomen worden:
- Aanwezigheid van grondwaterwinning voor publieke distributie die binnen een termijn van 4 jaar kan worden bereikt
 - Erkend risico van verticale migratie in de richting van een waterhoudende laag met een economische waarde binnen een termijn van 4 jaar.

Volgende verzachtende omstandigheden worden eveneens in overweging genomen:

- Verontreinigingspluim waarvan de verticale en horizontale migratie = 0 en
- Verontreinigingspluim die volledig wordt beperkt binnenin 1 kadastraal perceel.
In dat geval is de discriminerende oppervlakte van de pluim 5.000 m^2

Tabel 5A : Te meten parameters van verontreinigende stoffen vóór de aanvang van een pomp- of behandelingsprocedure in het kader van een behandeling (vóór de start van de pilootproef of vóór de opstartfase)– Werf van grote omvang

Parameters	Type van opvolging	Opmerkingen
Bron van de verontreiniging nog aanwezig of verwijderd	Historisch onderzoek, plaatsbezoek	Beschikbaar in het gedetailleerd onderzoek
Gehaltes in de bodem		
Concentraties in de bodem : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > terugsaneerwaarde/saneringsdoelstelling)	Boringen, staalname en analyses van de bodem en afperking	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Inschatting van de totale vuilvracht	Op basis van ingeschatte volumes en gemiddelde concentraties	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Gehaltes in het grondwater		
Concentraties in het grondwater : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > terugsaneerwaarde/saneringsdoelstelling)	Plaatsing van peilbuizen, staalname en analyses van grondwater en afperking	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Chemische specificatie van de stof	Grondwaterkarakteristieken (pH, Eh, andere), stabiliteitsdiagrammen of geochemische rekenmodules	
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 pollutant volgens de longitudinale richting (verspreiding van de pluim in 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
Werkelijke longitudinale migratie snelheid van de pollutant (verspreiding van de pluim in de richting van de grondwaterstroming)	Opeenvolgende meetcampagnes ter hoogte van een netwerk van monitoringspeilbuizen	
Migratie snelheid van de pollutant 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
Werkelijke laterale migratiesnelheid (verspreiding van de pluim loodrecht op de richting van de grondwaterstroming)	Opeenvolgende meetcampagnes ter hoogte van een netwerk van monitoringspeilbuizen	
Vitesse de migration verticale dans le sol (extension verticale du panache lors de sa migration)	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 pollutant volgens de verticale richting (verticale verspreiding van de pluim)	Opeenvolgende meetcampagnes ter hoogte van een netwerk van monitoringspeilbuizen	
Aanwezigheid van een vrije fase		
Chemische samenstelling van de vrije fase	Staalname en analyse van minstens 3 stalen van de vrije fase (drijfslaag/zinklaag)	
Horizontale verspreiding van de vrije fase	Observatie van de aanwezigheid van een vrije fase (drijfslaag/zinklaag) ter hoogte van een netwerk van peilbuizen - meetcampagnes aan de hand van een MIP-systeem (Géoprobe) of door bodemluchtmetingen	
Dikte van de drijfslaag/zinklaag	Meting van de dikte van de drijfslaag/zinklaag in een netwerk van monitoringspeilbuizen	
Inschatting van het volume aan vrije fase	Inschatting op basis van de diktemetingen in de peilbuizen	
Mobiliteit van de vrije fase	In situ recuperatietesten en inschatting door berekeningen of aan de hand van modellen	
	Metingen van de dynamische viscositeit van de vrije fase	
	= parameters waarvan de meting of estimatie vereist is	
	= parameter waarvan de meting of estimatie nuttig is	

Tabel 5B Te meten parameters van verontreinigende stoffen vóór de aanvang van een pomp- of behandelingsprocedure in het kader van een behandeling (vóór de start van de pilootproef of vóór de opstartfase)– Werf van kleine omvang

Parameters	Type van opvolging	Opmerkingen
Bron van de verontreiniging nog aanwezig of verwijderd	Historisch onderzoek, plaatsbezoek	Beschikbaar in het verkennend onderzoek
Gehaltes in de bodem		
Concentraties in de bodem : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > terugsaneerwaarde/saneringsdoelstelling)	Boringen, staalname en analyses van de bodem en afperking	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Inschatting van de totale vuilvracht	Op basis van ingeschatte volumes en gemiddelde concentraties	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Gehaltes in het grondwater		
Concentraties in het grondwater : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > terugsaneerwaarde/saneringsdoelstelling)	Plaatsing van peilbuizen, staalname en analyses van grondwater en afperking	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Chemische specificatie van de stof	Grondwaterkarakteristieken (pH, Eh, andere), stabiliteitsdiagrammen of geochemische rekenmodules	
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 pollutant volgens de longitudinale richting (verspreiding van de pluim in 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
Werkelijke longitudinale migratie snelheid van de pollutant (verspreiding van de pluim in de richting van de grondwaterstroming)	Opeenvolgende meetcampagnes ter hoogte van een netwerk van monitoringspeilbuizen	
Migratie snelheid van de pollutant 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
Werkelijke laterale migratiesnelheid (verspreiding van de pluim loodrecht op de richting van de grondwaterstroming)	Opeenvolgende meetcampagnes ter hoogte van een netwerk van monitoringspeilbuizen	
Vitesse de migration verticale dans le sol (extension verticale du panache lors de sa migration)	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 pollutant volgens de verticale richting (verticale verspreiding van de pluim)	Opeenvolgende meetcampagnes ter hoogte van een netwerk van monitoringspeilbuizen	
Aanwezigheid van een vrije fase		
Chemische samenstelling van de vrije fase	Staalname en analyse van minstens 1 staal van de vrije fase (drijfslaag/zinklaag)	
Horizontale verspreiding van de vrije fase	Observatie van de aanwezigheid van een vrije fase (drijfslaag/zinklaag) ter hoogte van een netwerk van peilbuizen	
Dikte van de drijfslaag/zinklaag	Meting van de dikte van de drijfslaag/zinklaag in een netwerk van monitoringspeilbuizen	
Inschatting van het volume aan vrije fase	Inschatting op basis van de diktemetingen in de peilbuizen	
Mobiliteit van de vrije fase	In situ recuperatietesten	
	Metingen van de dynamische viscositeit van de vrije fase	2
	= parameters waarvan de meting of estimatie vereist is	
	= parameter waarvan de meting of estimatie nuttig is	

Tabel 5C : Te meten parameters van de bodem en van grondwater vóór de aanvang van een pomp- en zuiveringsoperatie in het kader van een behandeling (vóór de lancering van de testfase of vóór de opstartfase) – Werf van grote omvang

Parameters	Type van opvolging	Opmerkingen
Hydrodynamische parameters van de bodem		
Stratigrafie van de bodem : aquifer (watervoerend), aquitard, aquicludes, ...	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen, boorbeschrijvingen	Beschikbaar in het gedetailleerd onderzoek
Piézométrie de ou des aquifère(s), gradients hydrauliques, sens d'écoulement, caractère confiné ou semiconfiné	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen, boorbeschrijvingen, plaatsing van peilbuizen, grondwaterpeilingen, hoogtemetingen	Beschikbaar in het gedetailleerd onderzoek
Vermogen van de watervoerende laag/lagen	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen, boorbeschrijvingen	Beschikbaar in het gedetailleerd onderzoek
Seizoensale schommelingen in grondwaterniveau	Opvolging van de grondwaterstanden in verschillende ronden	
Hydraulische conductiviteit, anisotropie, bergingscoëfficiënt van de watervoerende laag waarop een interventie zal gebeuren	Lange pompproef met monitoringspeilbuizen	
Invloedstraal van de pompput	Lange pompproef met monitoringspeilbuizen	
Verhouding tussen gepompt debiet en verlaging	Lange pompproef met monitoringspeilbuizen	
Graad van afscheiding tussen verschillende aaneensluitende watervoerende lagen	Lange pompproef met monitoringspeilbuizen	
Bij aanwezigheid van puur product		
Recuperatiesnelheid van de vrije fase door skimmen	Zie pilootproef	
Recuperatiesnelheid van de vrije fase door bioslurping	Zie pilootproef	
Invloedstraal van bioslurping in de vrije fase	Zie pilootproef	
Fysico-chemische karakteristieken van het opgepompte grondwater		
Fysico-chemische parameters van het opgepompte grondwater: gehalten in ijzer, mangaan, arseen, carbonaten, partikels in suspensie, pH, Eh, sulfaten,	Staalnames en analyses in labo	
Bij injectie van water met of zonder chemische agentia		
Infiltratiecapaciteit van de bodem in de onverzadigde en/of verzadigde zone (putten, drains of sleuven)	Continue of intermitterende infiltratietesten op terrein	Nabijgelegen structuren mee in rekening te brengen (stabiliteit van de structuur, ...)
Fysico-chemische parameters van het opgepompte grondwater: gehalten in ijzer, mangaan, arseen, carbonaten, partikels in suspensie, risico op dichtslibben,	Staalnames en analyses in labo	
Capaciteit van de maatregel om het geheel of quasi geheel van de geïnjecteerde componenten terug af te vangen	Zie pilootproef + simulatie aan de hand van een stromings- en transportmodel	
	= parameters waarvan de meting of estimatie vereist is	
	= parameter waarvan de meting of estimatie nuttig is	



Tabel 5D : Te meten parameters van de bodem en van grondwater vóór de aanvang van een pomp- en zuiveringsoperatie in het kader van een behandeling (vóór de lancering van de testfase of vóór de opstartfase) – Werf van kleine omvang

Parameters	Type van opvolging	Opmerkingen
Hydrodynamische parameters van de bodem		
Stratigrafie van de bodem : aquifer (watervoerend), aquitard, aquicludes, ...	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen, boorbeschrijvingen	Beschikbaar in het gedetailleerd onderzoek
Piézométrie de ou des aquifère(s), gradients hydrauliques, sens d'écoulement, caractère confiné ou semiconfiné	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen, boorbeschrijvingen, plaatsing van peilbuizen, grondwaterpeilingen, hoogtemetingen	Beschikbaar in het gedetailleerd onderzoek
Vermogen van de watervoerende laag/lagen	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen, boorbeschrijvingen	Beschikbaar in het gedetailleerd onderzoek
Seizoenale schommelingen in grondwaterniveau	Opvolging van de grondwaterstanden in verschillende ronden	
Hydraulische conductiviteit, anisotropie, bergingscoëfficiënt van de watervoerende laag waarop een interventie zal gebeuren	Lange pompproef met monitoringspeilbuizen	
Invloedstraal van de pompput	Lange pompproef met monitoringspeilbuizen	
Verhouding tussen gepompt debiet en verlaging	Lange pompproef met monitoringspeilbuizen	
Graad van afscheiding tussen verschillende aansluitende watervoerende lagen	Lange pompproef met monitoringspeilbuizen	
	Staalname en metingen van de hydraulische conductiviteit in het labo	
In geval van aanwezigheid van een drijfslag		
Recuperatiesnelheid van de vrije fase door skimmen	Testen van de efficiëntie van de techniek tijdens de opstart + analyseresultaten tijdens het tussentijds rapport	
Recuperatiesnelheid van de vrije fase door bioslurping	Testen van de efficiëntie van de techniek tijdens de opstart + analyseresultaten tijdens het tussentijds rapport	
Invloedstraal van bioslurping in de vrije fase	Testen van de efficiëntie van de techniek tijdens de opstart + analyseresultaten tijdens het tussentijds rapport	
Fysico-chemische karakteristieken van het opgepompte water		
Fysico-chemische parameters van het opgepompte grondwater: gehalten in ijzer, mangaan, arseen, carbonaten, partikels in suspensie, pH, Eh, sulfaten,	Staalnames en analyses in labo	
Bij injectie van water met of zonder chemische agentia		
Infiltratiecapaciteit van de bodem in de onverzadigde en/of verzadigde zone (putten, drains of sleuven)	Continue of intermitterende infiltratietesten op terrein	Nabijgelegen structuren mee in rekening te brengen (stabiliteit van de structuur, ...)
Fysico-chemische parameters van het opgepompte grondwater: gehalten in ijzer, mangaan, arseen, carbonaten, partikels in suspensie, risico op dichtslibben,	Staalnames en analyses in labo	
Capaciteit van de maatregel om het geheel of quasi geheel van de geïnjecteerde componenten terug af te vangen	Tijdens de opstartfase + monitoringspeilbuizen	
	simulatie aan de hand van een stromings- en transportmodel	
	= parameters waarvan de meting of estimatie vereist is	
	= parameter waarvan de meting of estimatie nuttig is	



Tabel 5E : Te evalueren parameters van de site vóór de aanvang van een pomp- en zuiveringsoperatie in het kader van een behandeling (vóór de start van de testfase of vóór de opstartfase)

Parameters	Type van opvolging	Opmerkingen
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 in het verkennend en gedetailleerd onderzoek
	Detectie op het terrein : voorgraven, CAT-scan ,....	Uitgevoerd in het verkennend en gedetailleerd onderzoek
Aanwezigheid van receptoren gevoelig aan geluid, geur, dampen, ... op de site en in de omgeving	Inventaris	
aanwezigheid van gevoelige receptoren ter hoogte van de watervoerende laag en onderliggende lagen	Inventaris van nabije waterwinningen, hydrogeologische studie	Uitgevoerd in het gedetailleerd onderzoek
Toegankelijkheid van de site voor de installatie en beschikbare oppervlakte	Inventaris	
Aanwezigheid van infrastructuur waarvan de stabiliteit mogelijk kan worden bedreigd ten gevolge van de grondwaterverlaging	Inventaris en stabiliteitsstudie indien de verlaging groot is, met name groter dan de seizoensschommelingen	
Bij injectie of herinjectie met of zonder chemische agentia		
Aanwezigheid van receptoren die kunnen worden bedreigd door chemische agentia	Inventaris van structuren	
Aanwezigheid van infrastructuur die kunnen worden bedreigd door een grondwaterstijging	Inventaris van structuren	
	= parameters waarvan de meting of estimatie vereist is	
	= parameter waarvan de meting of estimatie nuttig is	

Deze tabellen impliceren volgende commentaren:

- Verontreinigingsbron al dan niet verwijderd, lekkende tank, geperforeerde leidingen, verontreinigingsbron in een kelder,... Zoals voor alle behandelingsoperaties ter plaatse is dit informatieluik voor de behandeling door pompen van kapitaal belang. Zonder deze informatie riskeren de behandelingstermijnen zeer lang te worden en de opvolging van de werken zal zich dan beperken tot een opeenvolging van remmende factoren in het behandelingsproces en waargenomen hervattingen bij de onderbreking van het pompen. Er moet dus zekerheid bestaan over de afwezigheid van een bron alvorens de pompoperatie wordt aangevangen
- Op dezelfde wijze moeten de secundaire bronnen van verontreiniging zoals bijvoorbeeld een sterk vervuilde bodemzone (met of zonder puur product) die aan de oorsprong kan liggen van een flux van verontreiniging in de richting van het grondwater ten gevolge van de infiltratie van neerslag, verwijderd worden of in rekening gebracht worden alvorens een behandeling door pompen aan te vatten.. Hiermee kan bijvoorbeeld rekening gehouden worden door een aparte procédé gekoppeld aan het pompen: uitgraven, warmtebehandeling, fysische afzondering van de kern van verontreiniging,...of door het in werking stellen van een variant: waterinfiltratie met of zonder chemisch stimulerende stof.
- Chemische aard van de vrije fase. Het wordt aanbevolen om minstens 3 stalen te nemen en te analyseren van deze fase: aan het migratiefront, in het midden en achteraan de pluim. In feite is de samenstelling van de vrije fase voor verontreinigingen die uit een mengsel bestaan, zoals brandstoffen, wegens migratiesnelheidsverschillen van de verschillende verbindingen ,

verschillend naargelang de positie ervan in een pluim. Veelvuldige analyses verzekeren ook de detectie van gemengde pluimen ten gevolge van veelvuldige verontreinigingen, zoals vaak wordt waargenomen in benzinestations: diesel + benzine + smeerolie.

- De exacte laterale uitbreiding van een drijfslaag of zinklaag kan enkel afgebakend worden aan de hand van een netwerk van peilbuizen (snijdend voor LNAPL). Het plaatsen van peilbuizen kan erg duur zijn (diepe laag), een voorafgaande verkenning van de grenzen van deze fase kan uitgevoerd worden aan de hand van minder dure onderzoeksinstrumenten zoals de meting van de gehalten aan vluchtige verbindingen (BTEX en VOCL) in de onverzadigde en verzadigde zone van de bodem of de meting van de gehalten aan vluchtige verbindingen aanwezig in de gasvormige fase van de bodem.
- De dikte van een drijfslaag (LNAPL) kan geschat worden op basis van de dikten van gemeten puur product in peilbuizen met behulp van verschillende vergelijkingen beschikbaar in de literatuur: Lenhard and Parker (1990) :

$$D_o = \frac{\rho_{ro} \beta_{ao} H_o}{\beta_{ao} \rho_{ro} - \beta_{ow} (1 - \rho_{ro})}$$

met : D_o de reële dikte van de vrije fase in de bodem (in m) ;
 H_o de dikte van de vrije fase in de peilbuis (in m)
 ρ_{ro} de relatieve dichtheid van de LNAPL (geen eenheid)

β_{ow} geeft de « scaling factor » weer equivalent aan de ratio $\frac{\sigma_{aw}}{\sigma_{ao}}$

met : σ_{aw} de oppervlaktespanning van water in N / ml ;
 σ_{ao} de oppervlakte spanning van LNAPL in N / m ;

β_{ow} geeft de olie/water « scaling factor » weer equivalent aan de ratio $\frac{\sigma_{aw}}{\sigma_{ao}}$

met σ_{ow} de interfaciale spanning olie/water in N/m ;

Voor een bodem met een zandig-lemige textuur geeft **Tabel 6** hieronder enkele voorbeelden van berekende ratio's tussen de verwachte dikte van puur product gemeten in de peilbuizen. Aandacht dient besteed te worden aan het feit dat deze relaties verschillende resultaten geven voor verschillende bodemtypes (diameter van de capillaire ruimte)

Tabel 6 : Relatie tussen de dikte van de LNAPL gemeten in de controlepeilbuizen et de verwachte dikte van de drijfslaag

Product	σ_{wa} N/m	σ_{oa} N/m	β_{ao}	ρ_{ro}	σ_{ow} N/m	β_{ow}	D_o/H_o
Benzine	0.0728	0.02	3.64	0.79	0.0528	1.3788	1.11
Kerosine JP4	0.0728	0.025	2.912	0.83	0.0478	1.5230	1.12
Diesel	0.0728	0.032	2.275	0.84	0.0408	1.7843	1.18

- Het uitvoeren van recuperatietesten van puur product heeft als doel om de viscositeit te schatten van het puur product alsook de haalbaarheid van een recuperatie door skimmen en eventueel door bioslurping. Het wordt aanbevolen om verschillende reeksen van leegpompen en terug laten recupereren uit te voeren in de monitoringsputten en -peilbuizen om zo onderscheid te maken tussen de initiële recuperatie (leegpompen van debuis en het filterend gedeelte) en recuperatie aan een constant ritme.
- Het recuperatiedebiet van een drijfslaag volgt volgende algemene vergelijking:

$V_n = K_n \cdot k_{rn} (S_w, S_n) I_n$ waarbij de migratiegradiënt volgende vorm aanneemt:

$I_n = (\Delta H + P_a) / L$ waarbij ΔH de daling van de vrije laag tijdens het skimmen, P_a is de ontwikkelde verlaging in de putten in geval van slurping en L is de actieradius van het skimmen of slurping tijdens de vrije fase

Verschillende modellen laten toe om de migratiesnelheid van een LNAPL te schatten tijdens een skimming of slurping-operatie (MOVER, ...).

- **Pomptesten van lange duur** : Deze testen baseren zich typisch op het volgende principe: één of meerdere pompputten uitgerust met een pomp voorzien van een debietmeter en een toestel om het grondwaterniveau te meten: herhaalde manuele metingen met behulp van een grondwatermetersonde of gebruik van « Divers » gekalibreerd door een barometersensor, monitoringspeilbuizen geplaatst in concentrische cirkels rond het (de) pompput(ten). Deze tests worden uitgevoerd in niet-stationaire stroming om de parameters van transmissiviteit te bepalen evenals de bergingscoëfficiënt van de waterlaag (formule van Theis voor afgesloten lagen, formule van Jacob voor vrije lagen). In stationair regime wordt de geleidbaarheidsparameter verkregen aan de hand van de formules van Thiem. Wat betreft de onvolledige putten (die niet de volledige dikte van de watervoerende laag beslaan) zijn andere formules van toepassing in stationair regime (Forchheimer, Babouchkine en Guirinsky, Porchet, Vibert, ...). Verschillende software programma's kunnen gebruikt worden om de resultaten van de testen te interpreteren (Aquifer test, ...)
- **Testen van korte duur**: slugtests, percolatietests (falling head), proef van Lefranc nemen enkele uren in beslag en worden op voorhand uitgevoerd op werven van kleine omvang. De resultaten worden geïnterpreteerd aan de hand van formules zoals die van Hvorslev, ... Ook hiervoor bestaan verschillende software programma's om de testresultaten te interpreteren (Aquifer test, Fallhead 1.0, ...)
- **De invloedsstraal van de pompputten**: deze wordt idealiter gemeten met behulp van monitoringspeilbuizen, geplaatst op toenemende afstanden van de putten bij de uitvoering van testen van lange duur. Wanneer deze optie niet beschikbaar is, wordt deze parameter geschat aan de hand van de resultaten van de pomptesten (wet van Dupuit) of aan de hand van empirische formules die beroep doen op de hydraulische conductiviteit: formules van Sichardt, Choultse,
- De fysisch-chemische eigenschappen van het gepompte en eventueel geherinjecteerde water in de bodem moeten verplicht geanalyseerd worden om dichtslibben van de behandelings- en infiltratieinfrastructuur te anticiperen. Deze parameters zijn: pH, Eh, ijzergehalte, Mn, Carbonaten, Sulfaten, zwevende deeltjes.

7.2 Belang van voorafgaande laboratoriumtesten

In het algemeen impliceert het uitvoeren van een pump and treat niet het uitvoeren van voorafgaande laboratoriumtesten.

- In het geval dat de variant waterinjectie + stimulerende chemische stoffen wordt toegepast, is een laboratoriumtest noodzakelijk (wastest van de bodem aan de hand van een kolomtest) teneinde het belang van de toevoeging van de chemische stof aan te tonen: spanningsactieve stoffen, oxiderende stof, complexvormer, ... De kolomtest zal beogen om de winst aan poreuze volumes te bepalen alvorens te pompen om de doelstelling te bereiken van de toevoeging van de stimulerende chemische stof. Een tweede voordeel van dit type test dat op voorhand wordt uitgevoerd is het verkrijgen van gegevens over de eigenschappen van het water dat zal opgepompt worden die mee in rekening dienen te worden gebracht: pieken van gehalten, aanwezige verbindingen, fysische toestand van de verontreinigende stoffen: geëmulgeerd,

gecomplexeerd, ... De moeilijkheid van dit soort test bestaat in de noodzaak om de testen uit te voeren op bodemstalen die absoluut identiek of vergelijkbaar dienen te zijn. Indien de restgehalten in de bodem variëren van plaats tot plaats, dan is het nemen van stalen en hun bereiding alvorens de test uit te voeren, van zeer groot belang.

De voorschriften met betrekking tot het type uit te voeren laboratoriumtest worden weergegeven in **tabel 7** hieronder en dit enkel voor spannings-actieve stoffen, gebruikt ter bevordering van de mobiliteit van koolwaterstoffen in de bodem.

Tabel 7 : Voorschriften voor laboratoriumtests op bodemstalen van te behandelen waterhoudende lagen bij behandeling door pompen + toevoeging van spannings-actieve stoffen

Modaliteit	Voorwaarden
Type tensio-actieve stof	Biodegradatietype : primaire biodegradatie >80 % in 21 dagen en secundaire biodegradatie >60 % in 28 dagen
Bodemtype	Ongeroerd bodemstaal, 1 staalnameset per bodemtype in de watervoerende laag; in elke set 8 stalen : (1 blanco + 3 behandelde stalen), 2 maal
	Initiële gehalten aan koolwaterstoffen in de bodemstalen
Type van kolom	Afhankelijk van labo en beschikbare opstellingen; 2" diamer, minimale lengte 30 cm
Test	Wastest in verzadigde omstandigheden
Te testen parameters	Types van tensio-actieve stoffen te gebruiken: minimaal 3 behandelingen
	Evolutie van gehalten aan koolwaterstoffen in de percolatiewateren: vergelijking tussen blanco en behandelde stalen, inschatting van het aantal volumes om de saneringsdoelstellingen te bereiken
	Belang van het fenomeen van rebound van gehalten na 48h wastest onder verzadigde omstandigheden
	Massabalans van koolwaterstoffen na behandeling van de bodem
	Evolutie van de gehalten aan tensio-actieve stoffen en massabalans van gebruikte agentia

7.3 Belang van een piloottest en minimale karakteristieken van deze test

Het inrichten van een werf voor een pump and treat van grondwater, met als doel het inperken op hydraulische wijze, het onderscheppen of zelfs behandelen van een pluim beroept zich op een goedgekeurde techniek. Op basis van de bepalingen voorzien in hoofdstuk VII van 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](#), is het niet nodig om over te gaan tot een piloottest, ongeacht de omvang van een werf. Nog altijd volgens ditzelfde hoofdstuk zullen de gegevens die verkregen worden tijdens de opstartfase, het onderwerp zijn van een onderzoek bij het (eerste) tussentijds rapport.

De toepassing van de variant waterinjectie met of zonder toevoeging van stimulerende chemische stoffen impliceert ook niet de verplichting om een piloottest uit te voeren gezien het principe zelf van de behandeling ongewijzigd blijft zodanig dat de techniek als goedgekeurd kan beschouwd worden.

Gezien een behandeling van de watervoerende laag door pompen de recuperatie impliceert van een vrije fase door skimmen of bioslurping, is de uitvoering van een proeftest vereist voor grote werven. Voor kleine werven is deze stap niet vereist rekening houdend met de ongeoorloofde financiële implicaties.

De parameters die bepaald dienen te worden bij de uitvoering van de piloottesten worden weergegeven in **tabel 8** hierna. In het geval van een drijfslag, zijn de aangetroffen omstandigheden te specifiek om veralgemeend te kunnen worden in een tabel.

Tabel 8 : Parameters en inhoud van piloottesten bij behandeling van een drijfslaag door pompen en bioslurping

Rubriek	Parameter en hoeveelheid	Opmerkingen
Beschrijving van de maatregel	Pompput (aantal, localisatie, diameter, diepte, filterlengte, filtermassief, kleistop, kop met of zonder afzuigkraan), observatiepeilputten (aantal, localisatie, diameter, diepte, filterlengte, filtermassief, kleistop, kop), debietmetingen van verschillende vloeistoffen (type, localisatie, ...), meting van de zuigkracht in geval van bioslurping (type, localisatie), leidingwerk en zuiveringsstation van de opgepompte vloeistoffen	De plaats van de verschillende elementen van de maatregel dient te worden toegevoegd op de figuren in bijlage 6 van het Saneringsplan
Put	Eén of meerdere putten in de watervoerende laag met drijfslaag. Filterlengte 1 m boven het niveau van de drijfslaag en 1 m onder het niveau van de grootste verlaging	
Observatiepeilputten	Gelokaliseerd in concentrische kringen rond de pompput(ten) en met filterstelling identiek aan de pompput. De buitenste kring peilbuizen moet toelaten om de invloedsstraal van de pompput te bepalen	
Leidingwerk naar zuiveringsstation	Te plaatsen op de site, rekening houdende met de bezetting, met mogelijke hinder (geluid, geur) en in de nabijheid van een lozingspunt	De behandeling van opgepompte vloeistoffen maakt deel uit van een aparte code van goede praktijk
Beperkte skimming aan de hand van een skimmer of membraanpomp	Debietmetingen van puur product en opgepompt grondwater. Periodiek onderzoek van de aard van het puur product. Meten van de afname van de dikte van de drijfslaag in de observatiepeilputten. Meting van de invloedstraal van het skimmen. Meting van de eventuele verandering van de omvang van het puur product. Evaluatie van het risico op dichtslibben van de zuiveringsinstallatie. Meting van gehalten aan verontreiniging in het gezuiverde water en noodzaak om een bijkomende zuiveringsstap te installeren (actief koolfilter).	
	Massabalans : verhouding opgepompt puur product/aanwezig puur product in de testperiode. Residuele gehalten in de capillaire bodemlaag	
	Technische haalbaarheid van de zuivering : aantal pompputten, zuiveringsduur, benodigde energieconsumptie, efficiëntie van het zuiveringsstation... Definitie van de opvolgparameters	
	Dimensionneren van de zuiveringsmaatregel: aantal en afstand tussen de putten, debieten van puur product en opgepompt water, zuiveringsduur, dimensionneren van de zuiveringsinstallatie, hoeveelheid van gezuiverde vloeistoffen, Bepaling van de opvolgparameters	
Skimming met verlaging (1 pomp of skimmer + 1 grondwaterpomp)	Debietmetingen van puur product en opgepompt grondwater en noodzaak om een zuivering te installeren. Periodiek onderzoek van de aard van het puur product. Meten van de afname van de dikte van de drijfslaag in de observatiepeilputten. Meting van de invloedstraal van het skimmen. Meting van de eventuele verandering van de omvang van het puur product. Evaluatie van het risico op dichtslibben van de zuiveringsinstallatie. Meting van gehalten aan verontreiniging in het gezuiverde water en noodzaak om een bijkomende zuiveringsstap te installeren (actief koolfilter).	
	Massabalans : verhouding opgepompt puur product/aanwezig puur product in de testperiode. Residuele gehalten in de capillaire bodemlaag	
	Technische haalbaarheid van de zuivering : aantal pompputten, zuiveringsduur, benodigde energieconsumptie, efficiëntie van het zuiveringsstation...	
	Dimensionneren van de zuiveringsmaatregel: aantal en afstand tussen de putten, debieten van puur product en opgepompt water, zuiveringsduur, noodzaak om het grondwater dat wordt opgepompt om verlaging te creëren te zuiveren, dimensionneren van de zuiveringsinstallatie, hoeveelheid van gezuiverde vloeistoffen, Bepaling van de opvolgparameters	
Bioslurping	Debietmetingen van puur product en opgepompt grondwater en bodemlucht. Periodiek onderzoek van de aard van het puur product. Meten van de afname van de gehalten verontreiniging in grondwater en bodemlucht. Meting van de gehalten aan O ₂ en CO ₂ in de bodemlucht. Meten van de afname van de dikte van de drijfslaag in de observatiepeilputten. Meting van de invloedstraal van het skimmen. Meting van de grondwaterverlaging in de pompput, monitoringspeilbuizen en invloedstraal in de bodemlucht. Meting van de eventuele verandering van de omvang van het puur product. Evaluatie van het risico op dichtslibben van de zuiveringsinstallatie. Meting van gehalten aan verontreiniging in het gezuiverde water en de gezuiverde lucht en noodzaak om een bijkomende zuiveringsstap te installeren (actief koolfilter).	Bodemluchtextractie en Bio-venting maken deel uit van een andere code van goede praktijk
	Massabalans : verhouding opgepompt puur product/aanwezig puur product in de testperiode. Residuele gehalten in de capillaire bodemlaag	
	Technische haalbaarheid van de zuivering : aantal pompputten, zuiveringsduur, benodigde energieconsumptie, efficiëntie van het zuiveringsstation...	
	Dimensionneren van de zuiveringsmaatregel: aantal en afstand tussen de putten, debieten van puur product en opgepompt water, zuiveringsduur, noodzaak om het grondwater dat wordt opgepompt om verlaging te creëren te zuiveren, dimensionneren van de zuiveringsinstallatie, hoeveelheid van gezuiverde vloeistoffen, Bepaling van de opvolgparameters	

8. Beschrijving van een type-installatie en installatieschema

Een pompinstallatie ter behandeling van grondwater bestaat typisch uit volgende elementen.

8.1. Doelstelling: afvangen van een pluim die zich in de richting van een gevoelige receptor verplaatst

- Eén of meerdere drains of interceptiesloten en / of een buffer van interceptieputten, die zich bevinden aan een hydrogeologische benedenloop van de pluim, tussen deze en de geïdentificeerde gevoelig receptor. De drains of interceptiesloten evenals de putten moeten voldoende diep zijn om de totaliteit van het vermogen van de pluim te kunnen onderscheppen op de voorziene plaats (rekening houdend met de verticale dispersie). In het geval van een pluim met groot vermogen, zal de buffer van putten bestaan uit putten uitgerust met filters die zich op verschillende sequentiële diepten bevinden. In het geval van drains die geplaatst worden door gerichte boringen, kan het plaatsen van opeenvolgende drains boven elkaar een optie zijn. De afstanden tussen de interceptiedomeinen en de omvang van de installatie worden berekend om ervoor te zorgen dat de pluim in zijn geheel wordt onderschept.
- Een pompinrichting van het onderschepte water: pomp met vlotter, in een toezichtskamer opgesteld op een laag punt in de sleuf, pomp in de pompputten, vacuümpomp verbonden met één of meerdere sleuven, drains of putten. Met het oog op het minimaliseren van geluidshinder kunnen de luchtpompen in gesloten toestellen worden geplaatst (kamers, containers,...)
- Een toestel om de pompen te regelen kan zeer diverse vormen aannemen: systemen met vlotters voor de pompen, elektrische sensoren in de drains, sloten en putten, kloksystemen, sequentiële systemen die de sequentiële werking verzekeren in de verschillende pompzones...
- Opvang- en transportkanalen van het gepompte water die de pompen met het zuiveringsstation verbinden. Deze kanalen (bij voorkeur ondergronds) zijn uitgerust met terugslagkleppen en debietmeters die toelaten om de onmiddellijke en cumulatieve gepompte volumes te meten in de putten en in de pompen.
- Een waterzuiveringsstation voor het opgepompte water. Een andere code van goede praktijk beschrijft de bovengrondse behandelingsoperaties van het water en andere vloeistoffen die opgepompt worden.
- Een monitoring - en opvolgingssysteem (zie hoofdstuk 11).

8.2. Doelstelling: hydraulisch afvangen van een pluim

- Eén of meerdere drains of sloten en/of een structuur van pompputten, geplaatst in of in de omgeving van het af te zonderen gebied. De drains of sloten moeten voldoende diep zijn om in staat te zijn het volledige vermogen van de pluim te onderscheppen. In geval van een pluim met sterk vermogen, zal de plaatsingsstructuur van putten bestaan uit putten uitgerust met filters die zich op verschillende sequentiële diepten bevinden. In het geval van drains die geplaatst worden door gerichte boringen, kan het plaatsen van opeenvolgende drains boven elkaar een optie zijn. De debieten en de afstand tussen de pompinrichtingen dient groot genoeg te zijn om migratie van verontreinigende stoffen buiten de af te zonderen zone te vermijden.
- Een inrichting voor het pompen van het onderschepte water : zie sectie 8.1
- Een inrichting voor regeling van het pompen: zie sectie 8.1

- Opvang- en transportkanalen van het gepompte water: zie sectie 8.1
- Een zuiveringsstation van het gepompte water: zie sectie 8.1
- Een monitoring - en opvolgingssysteem (zie hoofdstuk 11).

8.3. **Doelstelling: behandeling van het verontreinigde gebied door pompen van grondwater**

- Eén of meerdere drains of sloten en/of een structuur van pompputten, geplaatst in of in de omgeving van het af te zonderen gebied. De drains of sloten moeten voldoende diep zijn om in staat te zijn het volledige vermogen van de pluim te onderscheppen. In geval van een pluim met sterk vermogen, zal de plaatsingsstructuur van putten bestaan uit putten uitgerust met filters die zich op verschillende sequentiële diepten bevinden. In het geval van drains die geplaatst worden door gerichte boringen, kan het plaatsen van opeenvolgende drains boven elkaar een optie zijn. De debieten en de afstand tussen de pompinrichtingen dient groot genoeg te zijn opdat de opvangzone de volledige pluim beslaat
- Een inrichting voor het pompen van het onderschepte water : zie sectie 8.1
- Een inrichting voor regeling van het pompen: zie sectie 8.1
- Opvang- en transportkanalen van het gepompte water: zie sectie 8.1
- Een zuiveringsstation van het gepompte water: zie sectie 8.1
- Een monitoring - en opvolgingssysteem (zie hoofdstuk 11).

8.4. **De varianten**

8.4.1 **Pompen + injectie van water met of zonder toevoeging van stimulerende chemische additieven**

De installatie dient verder nog te bevatten:

- Een maatregel om water te injecteren : infiltratiesleuven of injectieputten stroomopwaarts van de pluim of binnenin de pluim, afgewisseld met pompputten. Bij toevoeging van additieven wordt een opslageenheid van het geïnjecteerde water boven het waterinjectietoestel geplaatst: meng- en opslagkuip
- Dit toestel wordt uitgerust met een systeem dat de debieten van de injecties regelt om overstromingen en het verspreiden van verontreinigende stoffen en/of additieven te vermijden.
- De meettoestellen dienen in staat te zijn om dispersie van eventuele additieven te detecteren.

8.4.2. **Tweefasige behandeling: verwijderen van een drijfslag**

Twee soorten inrichtingen kunnen geïnstalleerd worden ofwel in pompputten, ofwel in interceptiesleuven :

- Eén of meerdere drains of sloten en/of een structuur van pompputten, geplaatst in of in de omgeving van de te behandelen laag. De drains of sloten moeten voldoende diep zijn om in staat te zijn het volledige vermogen van de drijfslag te onderscheppen. De afstand tussen de pompinrichtingen dient klein genoeg te zijn om de uitbreiding van de vrije fase in zijn geheel te kunnen onderscheppen.
- Ter hoogte van elke sleuf of put: een skimmer of skimmers (van het type scavenger met een hydrofobe/oleofiele drijvende filter. Voor oppervlakkige lagen kunnen skimmers aan een koord gebruikt worden. Gezien de zwakke debieten waarmee ze pompen, veroorzaken ze geen verlaging van het grondwaterniveau en dus geen verontreiniging van de bodem door de

vrije fase tijdens een verlaging. Rekening houdend met de afwezigheid van verlaging en een hydraulische gradiënt ter hoogte van de put is de actieradius van het skimtoestel klein.

- In tegenstelling tot een enkele skimmer kan een tweefasige pompoperatie alleen gerealiseerd worden door middel van één enkele pomp die zich bevindt onder het stationaire niveau van de drijflaag stof of door middel van twee pompen: één onderwaterpomp die enkel water verwijdert om zodanig een afpompskegel te creëren en één skimpomp die enkel de drijflaag stof oppompt. De hoeveelheden aan opgepompt water, al dan niet verontreinigd, die in rekening dienen gebracht te worden zijn hoog wat een aanzienlijke kost met zich meebrengt per eenheid van gerecupereerd product.
- Een toestel dat de pomp regelt. In geval van aanwezigheid van één enkele skimmer, is dit toestel niet nodig gezien dan enkel de drijflaag wordt verwijderd zodat de gepompte debieten en de verlaging zwak zijn. Het regeltoestel is wel noodzakelijk in het geval van een verlagingspomp. De verschillende vormen van dit toestel werden besproken in punt 8.1.
- Opvang- en transportkanalen van de gepompte vloeistoffen: zie sectie 8.1
- Een zuiveringsstation van de gepompte vloeistoffen. Een afzonderlijke code van goede praktijk beschrijft de behandelingsoperaties van het water en andere vloeistoffen die uit de bodem gepompt worden: zie sectie 8.1
- Een monitoring - en opvolgingssysteem (zie hoofdstuk 11).

8.4.3. Tweefasig pompen van een zaklaag (DNAPL)

Deze operatie beoogt het verwijderen van de vrije zaklaag in pompputten (en in mindere mate sleuven).

Deze techniek wordt zelden toegepast gezien de moeilijkheidsgraad om in 3D de omvang van de DNAPL af te bakenen en de richting van diens migratie te bepalen, vooral wanneer ze grotere diepten bereikt.

8.4.4. Driefasig pompen in geval van aanwezigheid van een drijflaag (bioslurping)

Bioslurping behelst het tegelijkertijd verwijderen van LNAPL aan de oppervlakte van een waterlaag en de lucht van de bodem in de onverzadigde laag van de bodem, en dit door het plaatsen van een onderdruk in de pompputten. De nodige installatie voor deze behandelingsmethode bestaat typisch uit::

- Een structuur van extractie putten met een filterlengte van ongeveer 2 m : 1 m boven en 1 m onder het niveau van de bovenkant van de laag. Deze putten zijn uitgerust met een zuigtube waarvan de basis zich (na afregeling) bovenaan de waterlaag bevindt. Ze zijn ook voorzien van een waterdicht deksel dat onderdruk mogelijk maakt in de pompput.
- Eén of meerdere vacuûmpompen verbonden met de pompput (een pomp per individuele put of verbonden met meerdere putten). Teneinde de geluidshinder te beperken, kunnen de luchtpompeenheden zich in geïsoleerde systemen bevinden (kamers, containers, ...).
- Elke individuele put (of groep van putten verbonden aan éénzelfde pomp) is uitgerust met een manometer die toelaat om de onderdruk ontwikkeld door het pompen, op te volgen.
- Een pompregeltoestel dat toelaat de onderdruk te wijzigen in de verschillende te behandelen zones in functie van de debieten van de opgespoorde vloeistoffen en gassen. Deze systemen kunnen zeer diverse zijn: onderdruk niveaus max – min in de putten, horlogesystemen, sequentiële systemen die de sequentiële werking in de verschillende pompzones verzekeren...
- Een evacuatiernetwerk wat de opgepompte vloeistoffen wegleidt (puur product, grondwater, gassen uit de bodem) in de richting van de zuiveringsinstallatie. Deze leidingen bevinden zich

best ondergronds om risico's op ongevallen of vorst te vermijden. Ze zijn voorzien van terugslagkleppen.

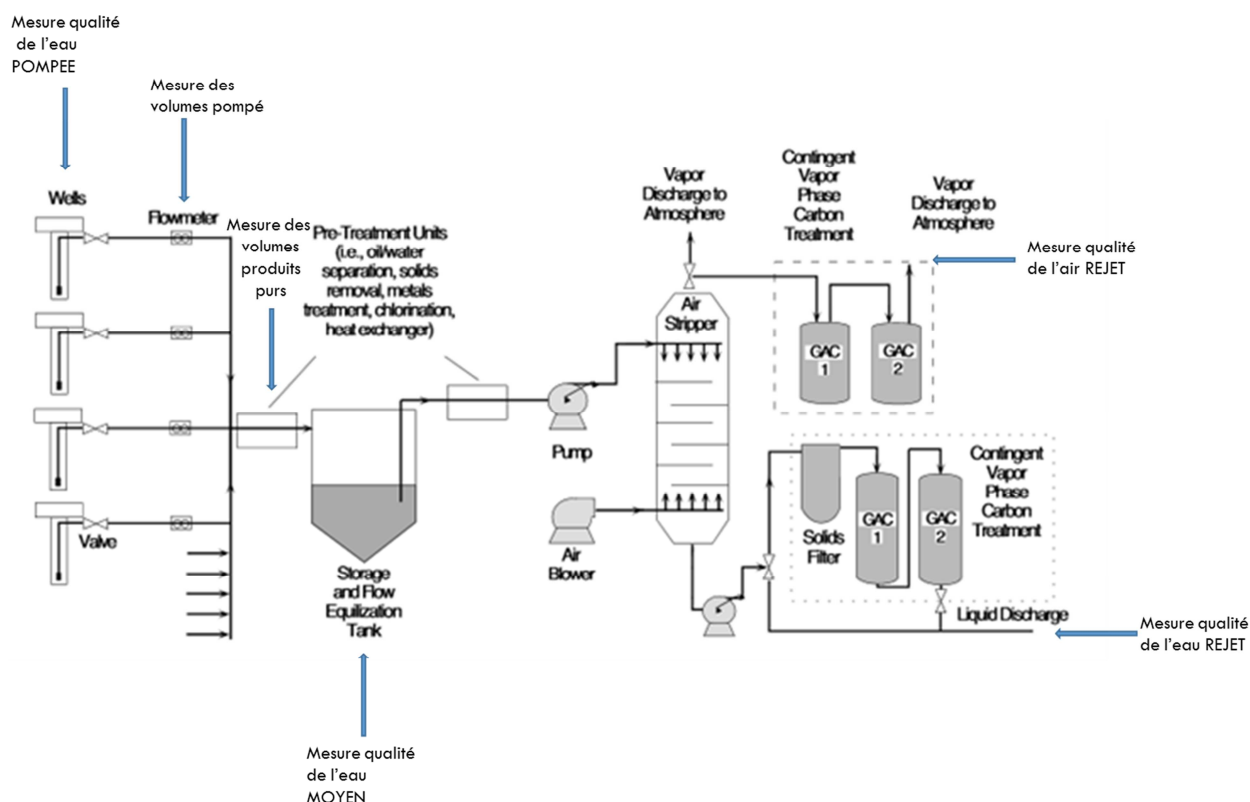
- Een zuiveringsinstallatie die de scheiding van de drie opgepompte fasen garandeert (puur product, grondwater, gas) en vervolgens zorgt voor de behandeling voor verwijdering. Een afzonderlijke code van goede praktijk beschrijft oppervlaktebehandelingsoperaties van water en andere uit de bodem opgepompte vloeistoffen.
- Een monitoring - en opvolgingssysteem (zie hoofdstuk 11).

Algemene opmerking

De toestellen die bij de installaties worden gebruikt zijn standaardtoestellen: putten, pompen, debietmeters, LEL sondes, manometers, filters, striptorens, ... beschikbaar op de markt in alle afmetingen en met een zeer gevarieerd gamma aan prestaties, waardoor er geen kritieke of modulaire maten worden aangeboden door de aannemers. Geen enkele beperking op de afmetingen dient in overweging genomen te worden bij het opstellen van projecten of bij het beheer van risico's en lastenboeken.

Conceptueel schema

De figuur hieronder illustreert het conceptueel schema van een type-installatie "pump&treat" en geeft de lokalisaties aan waar controlestaalnames kunnen uitgevoerd worden



(Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat Systems, EPA 1997)

9. Beschrijving van de installatie die in werking zal worden gesteld

De maatregel die geïnstalleerd zal worden in het kader van het risicobeheer of de sanering dient beschreven te worden in het [voorstel, of die na de werken dienen in het eindrapport dienen gecommuniceerd te worden voor behandelingen die geen voorstel vereisen](#), waarbij minimum wordt gezorgd voor de volgende indicaties die beschreven zijn in **Tabel 9**. In deze tabel werd er geen onderscheid gemaakt tussen werven van grote of kleine omvang, noch tussen vereiste gegevens en nuttige gegevens gezien, indien van toepassing, alle gegevens dienen beschouwd te worden als noodzakelijk.

Tabel 9 : Aan te leveren gegevens betreffende het te installeren behandelingssysteem.

Deel van de maatregel	Element	Beschrijving	Opmerkingen
Doelstelling	Afvangen	Afstand ten opzichte van de kern en het front van de pluim, afmetingen in X,Y en Z van de pluim ter hoogte van de afvangbarrière, maximaal toegelaten gehalte vanaf deze barrière, gevoelige receptor die dient beschermd te worden (type en ligging in X, Y en Z). Verwachte debieten per put, drains of sleuven, verlaging	
	Hydraulisch afvangen van de pluim	Actuele afmetingen in X, Y en Z van de pluim, maximaal toegelaten afmetingen van de pluim in X, Y en Z, maximaal toegelaten gehalten aan de grenzen van de pluim, gevoelige receptor die dient beschermd te worden (type en ligging in X, Y en Z). Verwachte debieten per put, drains of sleuven, verlaging	
	Zuivering van de watervoerende laag (kern of pluim)	Te behalen gehalten in de watervoerende laag en evt de bodem (capillaire zone), actuele afmetingen in X, Y en Z van de verontreiniging. Verwachte debieten per put, drains of sleuven, verlaging. Verwachte duur	
Oppompen van grondwater	Sleuf of drain	Plaats en dimensie (lengte, breedte, diepte), wijze van plaatsen (ontgraving buiten met of zonder verharding, sleuven trekken met onmiddellijke plaatsing van drains, horizontaal gestuurde boringen, ...)	Als de watervoerende laag uit verschillende lagen met verschillende permeabiliteit bestaat, moet de maatregel de drainage van alle verschillende lagen verzekeren
		Recuperatie van opgepompt grondwater: drain + recuperatieput (pasief systeem), drain in geperforeerd PVC + filtermassa errond, volledige afvangsleuf (drain + filterend materiaal over de ganse waterdiepte, ...) eindigend in een controlekamer	Bij mogelijke aanwezigheid van een drijfslag, moet de recuperatiemaatregel (put, drain, sleuf) snijdend worden geplaatst ten opzichte van de watertafel. Bij mogelijke aanwezigheid van een zaklaag, moet de recuperatiemaatregel (put, drain, sleuf) snijdend worden geplaatst ten opzichte van de onderliggende laag
	Pompput	Plaats en afstand tussen de verschillende putten, diepte van de blinde en gefilterde delen, diameter en type buizen, grootte van de filteropeningen, type en diepte van de filtermassieven, type en positie van de kleistop (bentoniet), type van straatpot (waterdicht), bescherming van de put (koker, wachtkamer, ...)	Als de watervoerende laag uit verschillende lagen met verschillende permeabiliteit bestaat, moet de maatregel de drainage van alle verschillende lagen verzekeren
			Bij mogelijke aanwezigheid van een drijfslag, moet de recuperatiemaatregel (put, drain, sleuf) snijdend worden geplaatst ten opzichte van de watertafel. Bij mogelijke aanwezigheid van een zaklaag, moet de recuperatiemaatregel (put, drain, sleuf) snijdend worden geplaatst ten opzichte van de onderliggende laag
	Pomp	Type et plaats van de pomp : vlotterpomp, dompelpomp, bovengrondse zuigpomp aangesloten op 1 of meerdere putten	De kracht van de pompen moet berekend worden ten opzichte van nodige debieten en maximale hydraulische krachten
	Skimming	Type en plaats van de maatregel : skimmer, pneumatische pomp of ODS systeem. Skimdebiet.	Anti-explosie-maatregelen nodig in geval van vluchtige componenten
	Skimming + grondwaterverlaging	Type en karakteristieken van de maatregel : skimmer + grondwaterpomp, Voorziene pompdebiet (water en puur product), voorziene verlaging, ...	
	Bioslurping	Eigenschappen van de zuigleiding (diameter en diepte tov maaiveld), voorziene pompdebiet (puur product, bodemlucht en water). Karakteristieken van de zuigpomp: kracht, ...	
	Regularisatiesysteem	Continu of getrapt pompsysteem (afhankelijk van de grondwaterstand), simultaan of opeenvolgend pompen,	In geval van vacuümpompen op verschillende putten, dient een systeem te worden geïnstalleerd dat verhindert dat lucht wordt aangezogen ter hoogte van de minst rendabele putten
Opvang van opgepompte vloeistoffen	Leidingwerk	Type, dimensies en localisatie van leidingen, antivriesmaatregelen, antidiefstalmaatregelen, controle op explosierisico's Localisatie en ontwerp om controlestalen te nemen. Localisatie van de debietmeters	
Zuiveringsstation	Deze rubriek maakt onderdeel uit van een andere Code		
Lozingsnormen	Gezuiverd water	De kwaliteitsnormen voor lozing van (gezuiverd) grondwater in de openbare riool of in oppervlaktewater komen overeen met de saneringsnormen van het AGRBC van 17 december 2009 (interventienormen en saneringsnormen)	Idem pour la réinjection dans le sol, bien qu'aucune disposition légale ou administrative n'existe à ce sujet.
	Puur product (afgescheiden)	Afhankelijk van het type product en de wetgeving: afval, gevaarlijk afval, energie-recuperatie	
	gezuiverde gassen	Volgens de infocif van 22/02/2011 waarin de emissienormen voor gassen afkomstig van bodemsanering worden vastgelegd	
Geluidsnormen	Geluidsmaatregelen	Type van maatregel : mesures anti-cavitation des pompes, isolation accoustique des pompes,	
	Geurmaatregelen	Eventueel in geval van vluchtige componenten (aceton, aromaten)	

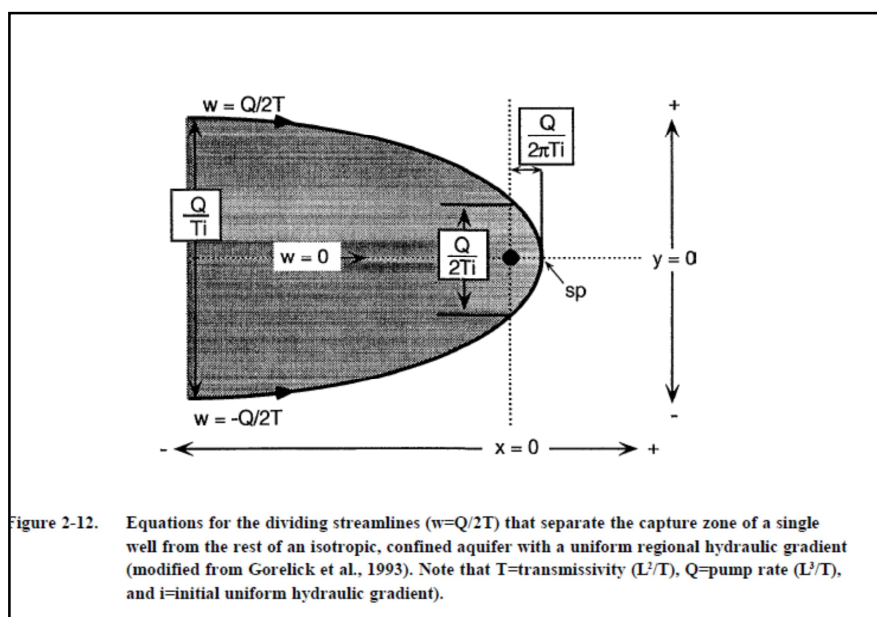


Volgende opmerkingen kunnen geformuleerd worden :

- Gezien de nagestreefde doelstelling het afvangen is van een verontreinigingspluim, is het nodig dat het geïnstalleerde toestel (scherm van putten of sleuven) in staat is om de totaliteit of de quasi-totaliteit van de pluim te onderscheppen, zodanig dat stroomafwaarts van de maatregel de nagestreefde gehalten in de laag en strengste beschermingsobjectieven van de receptor worden bereikt. Daartoe moeten de parameters van de maatregel (interceptiediepten, gepompte debieten, afstand tussen de putten, lengte van de sleuven,...) getest worden en geoptimaliseerd worden bij de opstartfase van de werf.

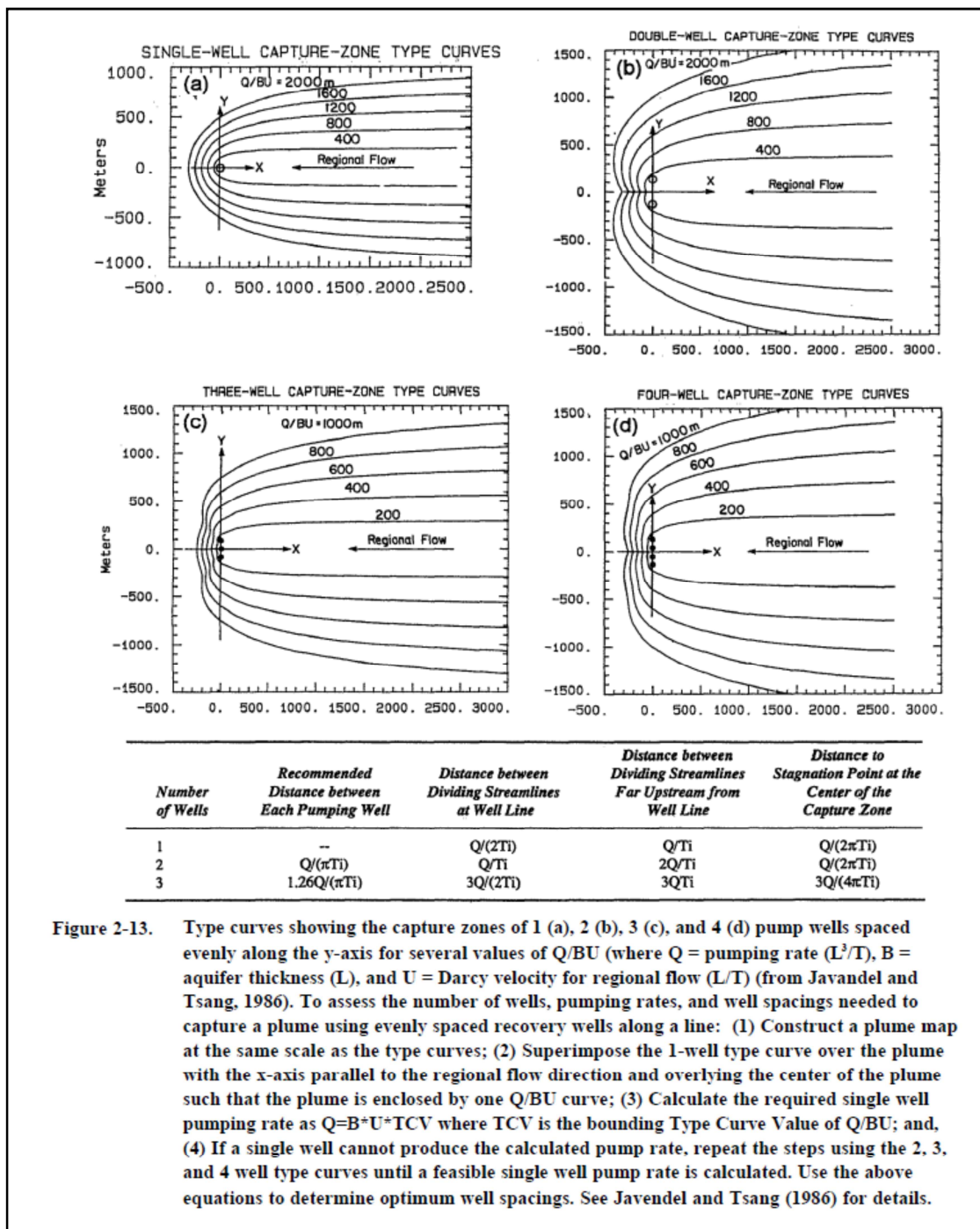
In het geval van kleine werven kan deze toetsing gebeuren met behulp van eenvoudige semi-analytische modellen zoals bijvoorbeeld datgene voorgesteld door Javandel en Tsang in 1986 (Capture-Zone Type Curves, a Tool for Aquifer Cleanup, Ground Water, sept-oct 1986, vol 24, n°5), zoals voorgesteld in **figuren 6 en 7** hierna. Deze methode laat toe om snel de uitbreiding van de opvangzone van een verontreinigende stof te schatten aan de hand van transitiviteitsgegevens en natuurlijke hydraulische gradiënt van de laag en ook het aantal benodigde putten te berekenen. Bij het gebruik van deze semi-analytische modellen dient men wel de grenzen van hun geldigheid in beschouwing te nemen: uniforme en isotrope hydraulische conductiviteitswaarden, volledige putten, geen belasting van de waterlaag en constante transmissiviteit. De berekening van de te vatten zone kan ook gebeuren aan de hand van andere semi-analytische modellen zoals RESSQC, WHPA (USEPA 1997), ... gebaseerd op dezelfde vergelijkingen en met dezelfde beperkingen.

Figuur 6 : Kwalitatieve schatting van de te capteren zone van een individuele put.



Methods for Monitoring Pump&Treat Performances, USEPA June 1994

Figuur 7 : kwalitatieve schatting van de te capteren zone bij verbonden putten.



Methods for Monitoring Pump&Treat Performances, USEPA June 1994

Voor werven van grote omvang, wordt aanbevolen om de verificatie bij voorkeur te verzorgen aan de hand van numerieke modellen zoals MODFLOW, MODPATHS, MT3D, ... die toelaten om meer complexe situaties in acht te nemen: meerdere waterlagen, variabele vermogens en geleidbaarheid, recharge van de waterlaag, ... Tracertesten mogen eveneens gebruikt worden om een kwalitatief beeld op te stellen van de doeltreffendheid van het afvangen van een verontreinigende stof door een bepaalde maatregel. Er dient genoteerd te worden dat, wegens de interactie tussen het tracerement en de vaste fase van de bodem, zelfs in de meest gunstige omstandigheden (homogene waterlaag, goede algemene doorlaatbaarheid met

grove textuur) de recuperatieniveaus van de tracer zelden hoog zijn en een weinig optimistisch beeld geven van de doeltreffendheid van de tussenkomst.

- Gezien de doelstelling van de behandeling bestaat uit het herstel van de kwaliteit van de waterlaag door het plaatsen van pompputten op regelmatige afstanden van elkaar, dienen de gelijke afstanden tussen de putten (L) conform te zijn aan de volgende relatie:

$L = 1.732 * r$ waarbij r = de invloedstraal van de pompput zoals gemeten tijdens de pomptesten of zoals berekend aan de hand van empirische formules.

De schatting van de behandelingstermijn van de grondwaterlaag maakt ook deel uit van de beschrijving van de maatregel van interventie.

- Ingeval een operatie beoogt om de migratie van een bestaande pluim te onderscheppen, kan de tijd nodig voor de interventie eeuwigdurend zijn (pluim van grote omvang en primaire of secundaire bron nog aanwezig) of kan bepaald worden door de tijd die nodig is om het geheel van de pluim te onderscheppen of door de tijd nodig voor de natuurlijke of gestimuleerde beperking van de verontreiniging. De duurtijd van de tussenkomst is dus niet afhankelijk van de parameters van de interceptiemaatregel.
- Ingeval een operatie beoogt om op hydraulische wijze de uitbreiding van de pluim te onderdrukken, kan de duur tijd van de interventie ook eeuwig zijn of bepaald worden door de tijd nodig voor de natuurlijke of gestimuleerde beperking van de verontreiniging.
- Indien een operatie beoogt om de kwaliteit van het grondwater te herstellen binnenin een pluim tot de vooropgestelde waarden bereikt worden, kan de behandelingstermijn van de laag door pompen bij een eerste analyse geschat worden aan de hand van volgende relatie:

$T = V_v / Q.R$ waarbij T de tijd is, nodig om de laag te saneren, V_v het volume aan verontreinigd water in de pluim, Q het pompdebiet en R de retardatiefactor (zoals hierboven beschreven). Deze vergelijking houdt rekening met verschijnselen van sorptie en desorptie van de verontreinigende stof en aanwezigheid van het vaste deel van de bodem.. Van deze verschijnselen wordt verondersteld dat ze aan de oorsprong liggen van een lineaire verhouding tussen gehalte in de bodem en gehalte in de laag. Teneinde rekening te houden met andere verschijnselen die zich voordoen bij het transfereren van verontreinigende stof (hydrodynamische dispersie, heterogeniteit van de bodem,) volstaat het om de geschatte tijd te vermenigvuldigen met een veiligheidsfactor van 1,5 tot 2.

Een andere relatie kan gebruikt worden die rekening houdt met het opeenvolgend herstellen van evenwicht tussen de gehalten in de vaste fase en gehalten in het grondwater naargelang het grondwater aan de bodem onttrokken wordt.

$$C_n = C_0 \left[\frac{\rho_g K_d}{\frac{p}{(1-p)} + \rho_g K_d} \right]^n \quad \text{waarbij}$$

C_n het gehalte is aan onttrokken grondwater na onttrekking van poreuze volumes aan de bodem (kg/m³)

C_0 het initiële gehalte is aan grondwater (kg/m³)

ρ_g de zichtbare dichtheid is van de bodem (Kg/m³)

K_d de distributiecöëfficiënt is van de verontreinigende stof in de bodem (%)

n het aantal poreuze volumes onttrokken grondwater tijdens het pompen.

In deze relatie beschouwt men dat het geheel aan poreus volume in de interceptiezone van de put de verontreinigende stof opsluit met een gelijke inhoud en, dat deze inhoud ongewijzigd blijft gedurende de volledige duurtijd die nodig is tijdens voor het onttrekken van het poreuze volume.

Er bestaan andere analytische simulaties die beroep doen op variabele tijdstappen en die opeenvolgende evenwichten laten tussenkomen tussen het gehalte in de vaste fase en het gehalte in de vloeibare fase op basis van massabalansen en fugaciteitsvergelijkingen.

- Voor werven van grote omvang, laten numerieke simulatiemodellen (Modflow et Modpath) toe om de evolutie van de pluimen na het plaatsen van de pompmaatregelen te simuleren.

10. Beheersing van veiligheid en stabiliteit en reductie van hinder : geur, geluid, stof...

10.1 Punten waarmee rekening dient gehouden te worden.

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

- Hinder van de luchtkwaliteit op de werf en in de directe omgeving ervan: gehalten aan schadelijke gassen, geuren, stoffen
- ontploffingsrisico's
- Geluidshinder
- Stabiliteitsrisico's voor gebouwen en infrastructuur
- Risico's voor naburige grondwaterwinningen

10.1.1 Hinder voor de luchtkwaliteit

In het geval van een behandeling van een verontreiniging bestaande uit vluchtige verontreinigende stoffen (met een dampdruk > 5 Pa bij 20°C zoals alifatische koolwaterstoffen (C5-C8, C8-C10, BTEX, MTBE, naftaleen), is er een risico dat de lucht die in direct contact staat met de pompinstallaties, het leidingwerk en de waterzuivering verontreinigd wordt door dampen die vrijkomen bij de behandeling. Teneinde het risico op verspreiding van schadelijke dampen, of dampen met een sterke geur in de richting van gevoelige receptoren die zich op de werf en in de nabije omgeving ervan kunnen bevinden, te voorkomen, dient er extra zorg besteed te worden aan de dichtingen en de leidingen van de pompinstallatie, het leidingwerk en de zuivering.

Zoals gepreciseerd in de sectie die de opvolging van de operaties behandelt, dient er bij de lancering van de operaties en twee weken erna, een onderzoek ingesteld te worden naar de kwaliteit van de lucht in de nabijheid van de waterzuiveringsinstallaties indien de aanwezige verontreinigende stoffen volatiel van aard zijn en indien gevoelige receptoren zich in de onmiddellijke buurt van de werf bevinden (woonzones, scholen,...) In geval van herhaalde klachten van inwoners over de aanwezigheid van geuren ten gevolge van de behandeling, moet er tussengekomen worden via een meetcampagne van de luchtkwaliteit.

De eventuele gasvormige uitstoot van de zuiveringsinstallatie, voortkomend uit bijvoorbeeld een striptoren, moet ook het onderwerp uitmaken van een regelmatige opvolging. Men dient ook aandacht te besteden aan het feit dat er geen emissiepunten zijn in de nabijheid van gevoelige receptoren. De uitstoot van stof kan geen gevolg zijn van het in werking stellen van een zuiveringsinstallatie die werkt met pompen.

10.1.2. Ontploffingsgevaar

Het pompen en de behandeling van grondwater verontreinigd met vluchtige stoffen, kan ontploffingsrisico's met zich meebrengen ter hoogte van de zuiveringsinstallatie van opgepompte vloeistoffen (opgepompt water, zuivere fase en gas uit de bodem) indien er zich dampen van ontvlambare verbindingen opstapelen. Onontvlambare gasdetectors dienen dus geïnstalleerd te worden in de buurt van de zuiveringsinstallatie teneinde de risico's op ontploffing van het systeem te meten. Tevens dient bij een overschrijding van 10% van de LEL waarde (Lower Explosive Limit) een alarminstallatie voorzien te worden.

10.1.3. Geluidshinder

Personen die in de buurt van de werf wonen kunnen geluidshinder ondervinden ten gevolge van de werking van de pompen of elektriciteitsgeneratoren in zones die niet aangesloten zijn op een netwerk.

Volgende maatregelen dienen genomen te worden om deze vorm van hinder te minimaliseren:

- Plaatsing van de installaties op een redelijke afstand van woonzones
- Debietregeling teneinde klopfenomenen te voorkomen ter hoogte van de pompen.
- Het plaatsen van installaties met hoge geluidsproductie in akoestisch sterk geïsoleerde kamers of containers.
- Tijdsregeling van de werking van toestellen teneinde nachtelijke hinder te vermijden.

10.1.4. Stabiliteitsrisico's voor gebouwen en naburige infrastructuur.

Een aanzienlijke verlaging van een watervoerende laag is in staat om een risico te vormen voor de stabiliteit van constructies in of op de bodem: vermindering van de dichtheid en draagkracht van de bodemlagen na desaturatie. Dit risico wordt nog verhoogd door de aanwezigheid van lenzen en turfagen van aanzienlijke dikte waardoor de desaturatie differentiële opstapelingen met zich meebrengt.

Indien de behandeling van de waterlaag wordt gerealiseerd door een belangrijke verlaging van het niveau van de watervoerende laag (groter dan de normale seizoensvariatie) in een zone waarop zich gebouwen bevinden of andere structuren die kunnen getroffen worden door zettingen of dichtheidsveranderingen, dient er een stabiliteitsstudie gemaakt te worden om het belang van de risico's in kaart te brengen en om de maximaal toelaatbare omvang van de verlagingen te bepalen.

10.1.5. Risico's voor naburige grondwaterwinningen

Grondwaterwinningen die gebruikt worden met als doel 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 de behandeling door middel van pompen. De mogelijke gevolgen zijn de volgende::

- Verontreiniging van het water ter hoogte van de winning in geval van onvoldoende beheersing, afbakening of behandeling van de pluim stroomopwaarts.
- Verontreiniging van het water ter hoogte van de winning ten gevolge van de toegenomen mobiliteit van de verontreiniging, dit ten gevolge van injectie van spannings-actieve stoffen of ten gevolge van injectie van andere chemische stimulerende stoffen.

Bij het opzet van een maatregel ter verwijdering van grondwater, dient men absoluut een berekening te maken van de invloedzone van deze pompmaatregel (met of zonder toevoeging van stimulerende chemische stoffen) waaruit duidelijk moet blijken dat er geen significant risico is voor de grondwaterwinningen stroomafwaarts.

10.2 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 risicobeheersmaatregelen'](#).

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 platform © \(Substance data sheets, <https://s-risk/be/documents>](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 gereguleerd 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.

11. Opvolging van de behandeling

11.1 Toezichtsmaatregelen: standaardmodel

11.1.1. De nagestreefde doelstelling is het beheersen of de afbakening van de pluim van de verontreiniging

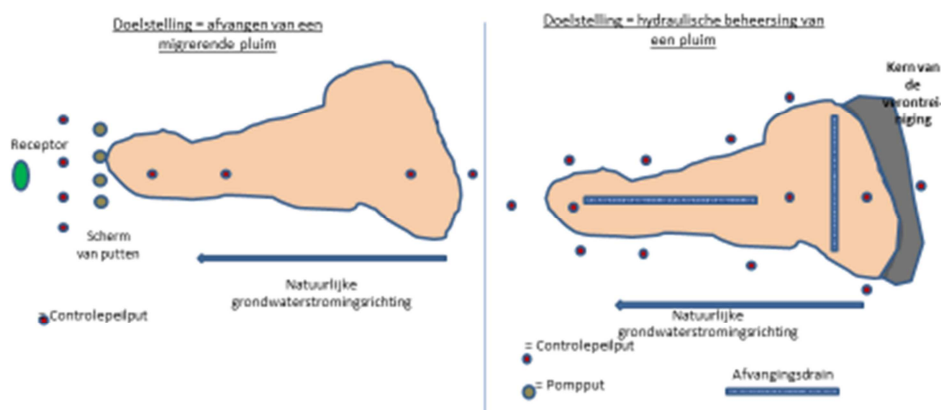
De opvolgingsmaatregel berust op volgende elementen:

- Een netwerk van peilbuizen ter monitoring over de getroffen zone en de omgeving ervan met als doel de evolutie van de grondwaterstijghoogten op te volgen
- Een netwerk van peilbuizen die zich voornamelijk buiten de verontreinigingspluim bevinden met als doel de doeltreffendheid van het afvangen van de verontreinigende stoffen na te gaan
- Een maatregel die toelaat de debieten op te volgen
- Een maatregel dat toelaat stalen te nemen van het behandelde water vóór afvoer

Figuur 8, geeft een voorbeeld weer van een mogelijke opstelling van monitoringspeilbuizen

- Het regelmatig meten van de grondwaterniveaus en de opvolging van de isohypsen laten toe om na te gaan of, ten gevolge van het pompen in de putten of het capteren in sleuven, de waterstroom van het verontreinigde grondwater in de richting van het behandelingstoestel blijft vloeien, en niet in een richting weg van de pompzone. Deze isohypsenkaarten laten een opvolging toe van de trend van de verwijderingsmaatregel. Ze geven daarentegen geen volledig beeld van de opvangzone van grondwater, in het bijzonder wanneer de natuurlijke hydraulische gradiënt (vóór het pompen) hoog is. De evolutie van de waarden op de isohypsenkaarten geeft ook een indicatie over de doeltreffendheid van de gebruikte afvangmaatregel. Het aantal te plaatsen peilbuizen hangt af van de grootte van de werf. In elk geval moet het mogelijk zijn om een beeld te vormen van de stromingsrichting voor de totaliteit van de pluim.

Figuur 8 : Localisatie van de opvolgingspeilbuizen



- De periodieke meting van gehalten aan verontreinigende stoffen dient uitgevoerd te worden op twee verschillende plaatsen:
 - Binnenin de pluim teneinde het verloop van de gehalten aan verontreinigende stoffen te meten en het belang te evalueren van fenomenen van natuurlijke afbraak. De plaatsing van de peilbuizen zal een losse matrix volgen: 1 peilbuis opwaarts, 1 in het midden en 1 afwaarts de pluim zodanig dat men de evolutie van de gehalten van de verschillende verontreinigende stoffen kan volgen in functie van hun mobiliteit.
 - Omheen de pluim in geval van hydraulische insluiting of stroomafwaarts in het geval van afbakening. De positie en het aantal peilbuizen om dit op te volgen moet toelaten om eventuele significante doorslag van verontreinigende stoffen door de interceptiemaatregelen heen op te sporen of de laterale expansie van de pluim ondanks de aanwezigheid van het pompen ter afbakening te detecteren. Bij eerste benadering mag de controle-afstand tussen deze peilbuizen die verspreid zijn omheen de pluim (doelstelling is omsluiting) of neerwaarts op de pluim niet groter zijn dan de waarde $L = 2r$, waarbij r de actieradius is van de pompputten. In alle gevallen moeten een of meerdere peilbuizen geplaatst worden op de stroombanen van de watervoerende laag tussen het front van de pluim en de te beschermen receptoren.

De peilbuizen worden zodanig geplaatst dat men de verwachte totale diepte van de verontreiniging kan onderzoeken: binnenin de pluim of volgens het migratieparcours dat door de simulatie voorspeld werd. Voor de plaatsing van de peilbuizen volstaat het om zich te baseren op de voorschriften van de code van goede praktijk n° 2 van het BIM « Installatie van peilbuizen ». Indien het gaat om een pluim met een vermogen groter dan 3 m, wordt de opvolging van de gehalten gegarandeerd door verschillende dicht bij elkaar liggende peilbuizen (of veelvuldige peilbuizen) waarvan de filters op verschillende diepten staan. Voor het nemen van stalen van grondwater volstaat het om zich te baseren op de code van goede praktijk n° 3 van het BIM « Staalname van bodem, grondwater, waterbodem en bodemlucht. ... ».

- Het meten van de gepompte debieten zal op ononderbroken wijze gebeuren met behulp van debietmeters die meting van instante en gecumuleerde debieten toelaten. Elke put of groep

van putten (indien de putten aan dezelfde pomp zijn verbonden) zal uitgerust worden met een debietmeter. De vooropgestelde doelstelling is om het belang te ontdekken van de gepompte debieten in de verschillende zones op de werf en, indien nodig, de mogelijkheden te evalueren om de pompdebieten te verhogen indien de interceptie of omsluiting ontoereikend is, of om in tegendeel deze laatste te verlagen, op uniforme wijze of per zone, indien de niveaus van de grondwaterstanden te laag zijn (opdroging van de laag) of indien de tussenkomst niet meer nodig is ten gevolge van een verlaging van het gehalte aan verontreinigende stoffen.

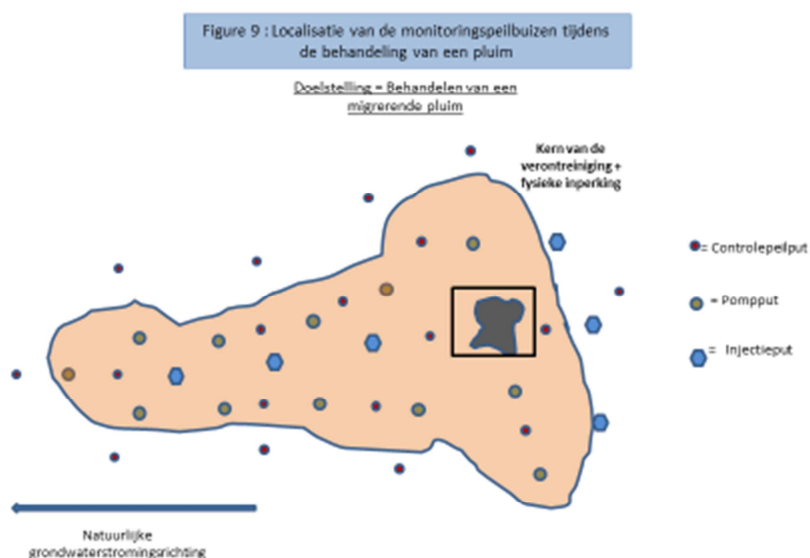
- Het behandelde water dat uit het zuiveringsstation komt zal bemonsterd en, geanalyseerd worden alvorens het terugstroomt naar het publieke rioolnetwerk, oppervlaktewateren, of herinjectie in de bodem. De staalname zal kunnen geschieden aan de hand van een watermonster dat onmiddellijk na de eerste stap van de behandeling genomen wordt of ter hoogte van het lozingspunt. Bij de behandeling van vluchtige stoffen door een striptoren, zullen de onttrokken dampen pas in de atmosfeer worden uitgestoten na behandeling. Een opstelling voor staalnames zal ingericht worden op het uiteinde van de uitstootleiding.

11.1.2. De beoogde doelstelling is de behandeling van de pluim van de verontreiniging

De opvolgingsmaatregel baseert zich op volgende elementen:

- Een netwerk van peilbuizen verdeeld over de getroffen zone en diens omgeving dat erop gericht is om de voortgang te meten van de grondwaterstanden en de gehalten aan verontreinigend product
- Een maatregel om debieten te meten.

Figuur 9 geeft een voorbeeld van een mogelijke opstelling van peilbuizen in het geval van een pomp- en injectiemaatregel..



- De regelmatige meting van de grondwaterstanden en de opvolging van de isohypsen laten toe om na te gaan of ten gevolge van het pompen in de putten of het capteren in de sleuven de waterstroom van het verontreinigde grondwater in de richting van het behandelingstoestel blijft vloeien, en niet in een richting weg van de pompzone. Dit nazicht is in het bijzonder belangrijk

omdat de behandeling door pompen vergezeld wordt door waterinjectie in de waterlaag (proper water en behandeld water, met of zonder stimulerend chemisch additief). Zoals vermeld in de volgende sectie laten deze isohypsenkaarten toe om een opvolging van de onttrekkingsmaatregel te realiseren. Zij geven echter geen exact beeld van de naburige omgeving van het grondwater, in het bijzonder als de natuurlijk hydraulische gradiënt (voor pompen) hoog is. De isohypsenkaarten geven aldus een indicatie over de doeltreffendheid van de opgestelde pompmaatregel. Het aantal op te stellen peilbuizen hangt af van de omvang van de werf. In elk geval moet deze toelaten om beeld te geven van de grondwaterstromingsrichting ter hoogte van het geheel van de pluim en de onmiddellijke omgeving ervan.

- De regelmatige meting van de gehalten aan verontreinigende stof moet plaatsvinden in twee verschillende zones
 - Binnenin de verontreinigingspluim teneinde het verloop van de gehalten aan verontreinigende stoffen te meten en de effectiviteit van de behandeling door pompen te evalueren. De plaatsing van de peilbuizen zal een matrix volgen die de totaliteit van de pluim beslaat zodanig dat men de zones kan identificeren die niet worden geïmpacteerd door de behandeling (stagnatiezones)
 - Rondom de verontreinigingspluim om hierdoor een eventuele laterale uitbreiding ervan te kunnen opsporen. In het geval van waterinjectie, verrijkt met stimulerende chemische verbindingen, laten de omringende peilbuizen toe om de migratie van deze verbindingen te controleren buiten de pluim en buiten de opvangzone in de richting van eventuele gevoelige receptoren. De positie en het aantal peilbuizen om dit op te volgen moet toelaten om een eventuele uitbreiding van de pluim te controleren en om de doorstroming van verontreinigende stoffen op te sporen. In elk geval dienen een of meerdere peilbuizen op de stroombanen geplaatst te worden tussen het front van de pluim en de te beschermen receptoren.

De peilbuizen worden zodanig geplaatst dat men de verwachte totale diepte van de verontreiniging kan onderzoeken: binnenin de pluim of volgens het migratieparcours dat door de simulatie voorspeld werd. Voor de plaatsing van de peilbuizen volstaat het om zich te baseren op de voorschriften van de code van goede praktijk n° 2 van Leefmilieu Brussel « Installatie van peilbuizen ». Indien het gaat om een pluim met een vermogen groter dan 3 m, wordt de opvolging van de gehalten gegarandeerd door verschillende dicht bij elkaar liggende peilbuizen (of veelvuldige peilbuizen) waarvan de filters op verschillende diepten staan. Voor het nemen van stalen van grondwater volstaat het om zich te baseren op de code van goede praktijk n° 3 van Leefmilieu Brussel « Staalname van bodem, grondwater, waterbodem en bodemlucht. ... ».

- Binnenin de pluim van de verontreiniging zal minstens een peilbuis voldoende diep geplaatst worden met filterstelling onder de verontreinigde laag zodanig dat men de eventuele verticale migratie van de verontreinigende stof kan controleren. Deze afperking zal niet nodig zijn indien er een ondoorlaatbare laag aanwezig is (aquitard, waterremmende laag) die de verticale migratie in de pluim begrenst.
- Het meten van de gepompte debieten zal op ononderbroken wijze gebeuren met behulp van debietmeters die meting van instante en gecumuleerde debieten toelaten. Elke put of groep van putten (indien de putten aan dezelfde pomp zijn verbonden) zal uitgerust worden met een debietmeter. De vooropgestelde doelstelling is om het belang te ontdekken van de gepompte debieten in de verschillende zones op de werf en, indien nodig, de mogelijkheden te evalueren om de pompdebieten te verhogen indien de captatie ontoereikend is, of om integendeel het pompdebiet te verlagen, op uniforme wijze of per zone, indien de niveaus van de grondwaterstanden te laag zijn (opdroging van de laag) of indien de tussenkomst niet meer nodig is ten gevolge van een verlaging van het gehalte aan verontreinigende stoffen. De



gemeten gehalten in het opgepompte water en de gecumuleerde debieten kunnen worden gebruikt om de vuilvracht te berekenen die nog aanwezig is in de watervoerende lagen.

- Het behandelde water dat uit het zuiveringsstation komt zal bemonsterd en, geanalyseerd worden alvorens het geloosd wordt op het publieke rioolnetwerk, oppervlaktewateren, of geherinjecteerd wordt in de bodem. De staalname zal kunnen geschieden aan de hand van een watermonster dat onmiddellijk na de eerste stap van de behandeling genomen wordt of ter hoogte van het lozingspunt. Bij de behandeling van vluchtige stoffen door een striptoren zullen de onttrokken dampen pas in de atmosfeer worden uitgestoten na zuivering. Een opstelling voor staalnames zal ingericht worden aan het uiteinde van de zuivering.

11.2 Toezichtsmaatregelen: opvolgingsparameters en hun regelmatige opvolging

De toezichtsmaatregelen en het benodigd aantal metingen wordt weergegeven in **Tabel 9** hieronder:

Tabel 9 :Toezichtsmaatregelen: opvolgingsparameters en hun regelmatige opvolging

Op te volgen parameters	Meting	Parameter	Minimale frequentie	Opmerkingen
Afvangen of inperken van de pluim				
Grondwaterstand / grondwaterstroming	Meting in de peilbuizen en tov een referentiepunt	Relatieve grondwaterstand + dikte van de eventuele drijfslaag	Eerste maand na opstart: wekelijks, 2 volgende maanden: 2 keer/maand, daarna maandelijks	Opstellen van een isohypsenkaart
Gehalten in de pluim	Staalname van het grondwater in de peilbuizen in de pluim en analyse van de stalen	Gehaltes die een interventie noodzakelijk maken	Bij de opstart daarna trimestrieel	
Gehalten in de omgeving van de pluim	Staalname van het grondwater in de peilbuizen rondom de pluim en analyse van de stalen	Gehaltes die een interventie noodzakelijk maken	Bij de opstart, daarna maandelijks gedurende 6 maanden, daarna 3maandelijks	
		Gehaltes die een interventie noodzakelijk maken + gehalten in eventuele stimulerende injectiestoffen	Bij de opstart, de volgende 3 maanden 2 keer/maand, de volgende 3 maanden maandelijks, daarna 3maandelijks	In geval van injectie
Instantane en cumulatieve debietmetingen	Uitlezen van debietmeters	Instantaan en cumulatief debiet	Eerste maand na opstart: wekelijks, 2 volgende maanden: 2 keer/maand, daarna maandelijks	
Gehaltes in de het opgepompte water	Staalname van het opgepompte water in de individuele putten of in de putten die aangesloten zijn op dezelfde pomp	Gehaltes die een interventie noodzakelijk maken	Bij de opstart, de volgende 3 maanden maandelijks, daarna 3maandelijks	
		Gehalten aan pH, O ₂ , ijzer, Mn en carbonaten, opgeloste deeltjes, AOC	Bij opstart, daarna om de 6 maanden	
Gehaltes in de dampen	Staalname aan de uitlaat van de filter	Gehaltes aan vluchtige componenten	Bij de opstart, de volgende 3 maanden maandelijks, daarna 3maandelijks	
Gehaltes in het gereinjecteerde of geloosde water	Staalname na de laatste zuiveringsstap of aan het lozingspunt	Gehaltes die een interventie noodzakelijk maken	Bij de opstart, de volgende 3 maanden maandelijks, daarna 3maandelijks	
Behandeling van de pluim				
Grondwaterstand / grondwaterstroming	Meting in de peilbuizen en tov een referentiepunt	Relatieve grondwaterstand + dikte van de eventuele drijfslaag	Eerste maand na opstart: wekelijks, 2 volgende maanden: 2 keer/maand, daarna maandelijks	In geval van intermitterend pompen, zal de frequentie verhoogd worden bij heropstart van pompen
Gehalten in de pluim	Staalname van het grondwater in de peilbuizen in de pluim en analyse van de stalen	Gehaltes die een interventie noodzakelijk maken	Bij de opstart daarna trimestrieel	In geval van intermitterend pompen, zullen de gehalten worden gemeten bij elke fase van heropstart van pompen
Gehalten in de omgeving van de pluim	Staalname van het grondwater in de peilbuizen rondom de pluim en analyse van de stalen	Gehaltes die een interventie noodzakelijk maken	Bij de opstart, daarna maandelijks gedurende 6 maanden, daarna 3maandelijks	
		Gehaltes die een interventie noodzakelijk maken + gehalten in eventuele stimulerende injectiestoffen	Bij de opstart, de volgende 3 maanden 2 keer/maand, de volgende 3 maanden maandelijks, daarna 3maandelijks	in geval van injectie
Instantane en cumulatieve debietmetingen	Uitlezen van debietmeters	Instantaan en cumulatief debiet	Eerste maand na opstart: wekelijks, 2 volgende maanden: 2 keer/maand, daarna maandelijks	
Gehaltes in de het opgepompte water	Staalname van het opgepompte water in de individuele putten of in de putten die aangesloten zijn op dezelfde pomp	Gehaltes die een interventie noodzakelijk maken	Bij de opstart, de volgende 3 maanden maandelijks, daarna 3maandelijks	
		Gehalten aan pH, O ₂ , ijzer, Mn en carbonaten, opgeloste deeltjes, AOC	Bij opstart, daarna om de 6 maanden	Indien natuurlijke afbraak ook wordt beschouwd in de saneringsduur, moeten de volgende parameters ook worden geanalyseerd : NO ₃ , nutriënten, methaan,
Gehaltes in de dampen	Staalname aan de uitlaat van de filter	Gehaltes aan vluchtige componenten	Bij de opstart, de volgende 3 maanden maandelijks, daarna 3maandelijks	
Gehaltes in het gereinjecteerde of geloosde water	Staalname na de laatste zuiveringsstap of aan het lozingspunt	Gehaltes die een interventie noodzakelijk maken	Bij de opstart, de volgende 3 maanden maandelijks, daarna 3maandelijks	

Deze tabel vereist volgende opmerkingen:

- Bij het meten van verontreinigende stoffen die een interventie vereisen (deze waarvan de vastgestelde gehalten volgens de studie laten blijken dat de risico's moeten behandeld worden of dat er gesaneerd dient te worden), dienen eveneens de verontreinigende verbindingen die veroorzaakt werden door de vervuiling geanalyseerd te worden. Bijvoorbeeld, bij een interventie ten gevolge van de waarneming van belangrijke gehalten aan TCE et DCE, dient het

gehalte aan vinylchloride ook gemeten te worden. Op dezelfde manier zal de behandeling van een verontreiniging veroorzaakt door pentachloorfenol gevolgd worden door een analyse van de gehalten aan chloorfenolen.

- De opeenvolgende metingen van de grondwaterhoogte moet toelaten om isohypsenkaarten van de zone van de werf op te stellen en zodoende de grondwaterstromingsrichting. Indien het detailniveau voldoende is zouden de stagnatiezones (of wanneer door afwezigheid van gradiënt het grondwater niet of te weinig circuleert) kunnen opgespoord worden.
- Bij aanwezigheid van een drijfslag fase geeft de hydraulische gradiënt een goed beeld over de migratiemogelijkheid van het zuivere product in de richting van de recuperatieputten.
- De frekwentie van de metingen van de gehalten aan verontreinigd product in de pluim bij een behandelingsinterventie ervan kan verhoogd of verlaagd worden in functie van de gepompte debieten en van de mobiliteit van de verontreinigende stoffen. Algemeen zal men de gehalten minstens een keer meten na het pompen van een poreus volume.
- Indien de behandelingswerken door pompen ook beogen om de vaste toestand van de bodem te saneren (bvb de capillaire zone), zullen de residuele gehalten in de bodem regelmatig gemeten worden aan een frequentie die voorgesteld werd door een expert. Men beschouwt als standaard een minimale frequentie bij het pompen van 2 poreuze volumes.

Bij het nemen van stalen van grondwater volstaat het om zich te baseren op de code van goede praktijk n° 3 van Leefmilieu Brussel « Staalname van bodem, grondwater, waterbodem en 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 Leefmilieu Brussel.

De opvolgingsparameters betreffende hinder zijn opgelijst in onderstaande **tabel 10**.

Tabel 10: Frekwentie en parameters van opvolgingsoperaties met betrekking tot hinder

Op te volgen parameters	Meting	Parameter	Minimale frequentie	Opmerkingen
Gehalten in de omgevingslucht	Meting van omgevingslucht in de nabijheid van de pomp- of zuiveringsinstallatie of in nabije gebouwen	Gehalte aan vluchtige verbindingen	Bij opstart, dan na 2 weken en dan 3maandelijks	In geval van aanwezigheid van vluchtige stoffen en gevoelige receptoren
Geluidsmeting	Monitoringnetwerk	Geluidsniveau	In geval van klachten van omwonenden	
Geurmetingen	Monitoringnetwerk	Geurdrempel	In geval van klachten van omwonenden	In geval van aanwezigheid van vluchtige stoffen en gevoelige receptoren

In navolging van het voorstel van de expert, kunnen de metingen van de gehalten in omliggende lucht uitgevoerd worden met behulp van een direct meetapparaat: PID, FID, Dräger tubes, ... indien blijkt dat deze metingen voldoende representatief zijn voor de aanwezige gehalten.

12. Rapportering, optimalisatie en corrigerende maatregelen

12.1 Rapportering

Overeenkomstig het voorschrift van het besluit 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 pompen op de waterlaag het voorleggen van een of meerdere tussentijdse rapporten aan Leefmilieu Brussel

- Tussentijds rapport over de opstartfase of pilootstudie indien deze niet werd gerapporteerd in het voorstel. Men schat dat een normale uitvoeringstermijn van een opstartfase 3 maanden is. Mits gerechtvaardigd voorstel van de expert mag deze termijn gewijzigd worden, bijvoorbeeld om de organisatieplanning van de site in rekening te brengen (uitgravingen van de kern van verontreiniging in de bodem die tegelijkertijd met het pompen in de pluim wordt uitgevoerd).
- Andere tussentijdse rapporten indien de behandelingsmaatregelen zich over meerdere jaren uitstrekken. De frequentie van deze tussentijdse rapporten wordt niet gespecificeerd in het Voorschrift. Deze frequentie zal worden bepaald in het voorstel, op gerechtvaardigd voorstel van 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 of wijziging van een waterinjectie inrichting, ...

De inhoud van het eerste tussentijdse rapport zal minimum de informatie bevatten die beschreven wordt in **tabel 11** hieronder.

Tabel 11 : Minimum informatie aanwezig in het eerste tussentijdse rapport

Rubriek	Te bepalen parameters en hoeveelheden	Opmerkingen
Beschrijving van de installatie (as built) voor de eerste fase of voor de pilootproef	Beschrijving van de verschillende elementen van de installatie: pompputten (aantal, ligging, diameter, diepte, filterstelling, grindkoffer, kleistoppen in de annulaire ruimte, afwerking), monitoringspeilputten (aantal, ligging, diameter, diepte, filterstelling, grindkoffer, kleistoppen in de annulaire ruimte, afwerking), inrichting voor het opmeten van de debieten van de onttrokken vloeistoffen (type, ligging, ...), inrichting voor het meten van de onderdruk in geval van bioslurping (type, ligging), aanzuigleidingen van de vloeistoffen en scheidings- en zuiveringsstation van de opgepompte vloeistoffeninrichting voor het meten van de stijghoogte nabij de extractieputten, leidingswerk, lucht/waterafscheider, zuiveringsinstallatie voor de onttrokken gassen	De ligging van de verschillende elementen van de installatie is het onderwerp van figuren toegevoegd in bijlage van het tussentijdse rapport
Eenvoudig pompen van grondwater	Gemeten grondwaterstanden voor en na aanvang van pompen en na eventuele debietswijzigingen (isohypsenkaarten) - invloedstraal van de verschillende putten - controle van de omvang van de afvangzone - opgepompte debieten in de verschillende putten (absolute en cumulatieve debieten) - gemeten gehalten in het opgepompte water en indien mogelijk massabalans van de verontreinigende stoffen - gehalten in de monitoringspeilputten voor en na aanvang van pompen (in de pluim en buiten de pluim) - gehalten aan verontreinigende stoffen in gezuiverd, geloosd of geherinjecteerd water - noodzaak om een bijkomende stap in de zuiveringsinstallatie te installeren - eventuele injectiedebieten - duur van de zuivering - haalbaarheid van de interventie - eventuele correctieve maatregelen	
Eenvoudig skimmen met skimmer of membraanpomp	Gemeten grondwaterstanden voor en na aanvang van pompen en na eventuele debietswijzigingen (isohypsenkaarten) - invloedstraal van de verschillende putten - controle van de omvang van de afvangzone - opgepompte debieten aan grondwater en puur product in de verschillende putten (absolute en cumulatieve debieten) - gemeten gehalten in het opgepompte water en indien mogelijk massabalans van de verontreinigende stoffen - gehalten in de monitoringspeilputten voor en na aanvang van pompen (in de pluim en buiten de pluim) - drijf laagdiktemetingen in de monitoringspeilbuizen - meten van de invloedsstraat van het skimmen op het puur product - meten van de omvang van het puur product - gehalten aan verontreinigende stoffen in gezuiverd, geloosd of geherinjecteerd water - noodzaak om een bijkomende stap in de zuiveringsinstallatie te installeren - evaluatie van het risico op dichtslibben van de zuiveringsinstallatie - eventuele injectiedebieten - duur van de zuivering - haalbaarheid van de interventie - eventuele correctieve maatregelen	
Skimmen met waterverlaging (1 pomp of een skimmer + een verlagingpomp)	Gemeten grondwaterstanden voor en na aanvang van pompen en na eventuele debietswijzigingen (isohypsenkaarten) - invloedstraal van de verschillende putten - controle van de omvang van de afvangzone - opgepompte debieten aan grondwater en puur product in de verschillende putten (absolute en cumulatieve debieten) - gemeten gehalten in het opgepompte water en indien mogelijk massabalans van de verontreinigende stoffen - noodzaak om het opgepompte grondwater te zuiveren - gehalten in de monitoringspeilputten voor en na aanvang van pompen (in de pluim en buiten de pluim) - drijf laagdiktemetingen in de monitoringspeilbuizen - meten van de invloedsstraat van het skimmen op het puur product - meten van de omvang van het puur product - gehalten aan verontreinigende stoffen in gezuiverd, geloosd of geherinjecteerd water - noodzaak om een bijkomende stap in de zuiveringsinstallatie te installeren - evaluatie van het risico op dichtslibben van de zuiveringsinstallatie - eventuele injectiedebieten - duur van de zuivering - haalbaarheid van de interventie - eventuele correctieve maatregelen	
Bioslurping	Gemeten grondwaterstanden voor en na aanvang van pompen en na eventuele debietswijzigingen (isohypsenkaarten) - invloedstraal van de verschillende putten - controle van de omvang van de afvangzone - opgepompte debieten aan grondwater, bodemlucht en puur product in de verschillende putten (absolute en cumulatieve debieten) - gemeten gehalten in het opgepompte water en in bodemlucht en indien mogelijk massabalans van de verontreinigende stoffen - meten van O ₂ - en CO ₂ -gehalten in de opgepompte bodemgassen - gehalten in de monitoringspeilputten voor en na aanvang van pompen (in de pluim en buiten de pluim) - drijf laagdiktemetingen in de monitoringspeilbuizen - meten van de invloedsstraat van het skimmen op het puur product - meten van de onderdruk in de pomput, de monitoringspeilbuizen en de invloedsstraat van het pompen in bodemlucht - meten van de omvang van het puur product - gehalten aan verontreinigende stoffen in gezuiverd, geloosd of geherinjecteerd water - gehalten gemeten in de geloosde gassen - noodzaak om een bijkomende stap in de zuiveringsinstallatie te installeren - evaluatie van het risico op dichtslibben van de zuiveringsinstallatie - eventuele injectiedebieten - duur van de zuivering - haalbaarheid van de interventie - eventuele correctieve maatregelen	De aspecten over BLE (bodempluchtexttractie) en over Bio-venting maken deel uit van een andere code van goede praktijk

12.2 Corrigerende maatregelen en optimalisatie

De corrigerende maatregelen die met een interventie door pompen gepaard gaan, omvatten vele aspecten. De meest voorkomende situaties zijn de volgende.

12.2.1 De nagestreefde doelstelling is het capteren of insluiten van de verontreinigingspluim

Probleemstelling:

De maatregel is niet in staat om de uitbreiding van de pluim te vermijden: niet lateraal, verticaal of longitudinaal in stroomafwaartse richting, zoals weergegeven op de isohypsenkaarten en/of de toename van concentraties gemeten in de controlepeilbuizen die zich bevinden in de omgeving of stroomafwaarts van de pluim en er binnenin (verticale uitbreiding)

Mogelijke corrigerende maatregelen:

- Verhogen van de pompdebieten in de individuele putten teneinde de beïnvloedings- en opvangzones te vergroten
- Verhogen van de dichtheid van het netwerk van pompputten (binnenin de pluim) of de interceptieputten (rondom of in afwaartse richting van de pluim).
- Nakijken en aanpassen van de diepte van de filters van de putten zodanig dat men pompt binnen het geheel van de verontreinigde waterlagen.
- In geval van te hoge pompdebieten (alluviale watervoerende lagen met grof zand) het interceptiepompen combineren met andere technieken: omsluitingsmuren + behandelingsbarrières,
- De aanwezigheid van voorkeursroutes controleren (netwerk van leidingen, ...)
- Een andere techniek in werking stellen.

12.2.3 De nagestreefde doelstelling is de behandeling van een verontreinigingspluim

Probleemstelling :

De waterlaag heeft een laag vermogen en ten gevolge van de pompwerkzaamheden daalt het niveau van de laag en de gepompte debieten worden verwaarloosbaar.. In geval van aanwezigheid van een drijflaag (LNAPL), zal de daling van het grondwaterniveau mogelijks de dikte van de drijflaag in getroffen waterlaag doen toenemen

Mogelijke corrigerende maatregelen:

- Verlagen van de pompdebieten (en op deze manier de voorziene duurtijd van de behandeling verlengen).
- Pompen met tussenpozen om de verlaging van het niveau van de laag te verminderen (wat de voorziene duurtijd van de behandeling verlengt)
- Overgaan tot waterinjectie opwaarts of binnenin de pluim om zodanig de pompdebieten te behouden. Opgelet, de impact van de injectie op de migratie en de opvang van de verontreinigende stoffen dient gedocumenteerd te worden in de pilootfase of bij de opstartfase..

Probleemstelling :

De in het gepompte water waargenomen gehalten aan verontreinigende stoffen uit de verschillende putten zijn zeer verschillend waardoor de ratio tussen de hoeveelheden afgevangen verontreinigende stof en gepompte volumes veel lager is dan voorzien wat een supplementaire kost met zich meebrengt.

Mogelijke corrigerende maatregelen:

- Wijzigen van de pompdebieten in functie van de positie van de verschillende putten binnenin de pluim of er omheen. Deze wijziging kan uitgevoerd worden door de individuele pompdebieten te wijzigen of door de werkingstijden te veranderen in het geval van sequentieel pompen.
- Nakijken van de diepte van de filters van de actieve putten met betrekking tot de effectieve diepte van de pluim. In voorkomend geval, plaatsen van nieuwe putten met een aangepaste positie van de filterlengte.

Probleemstelling:

De waargenomen residuele gehalten aan verontreinigende stof in het grondwater in de monitoringspeilbuizen dalen trager dan voorzien op basis van het aantal poreuze volumes die men in rekening dient te nemen en op basis van de gehalten aan « rebound » na beëindigen van het pompen.

Mogelijke corrigerende maatregelen :

De residuele gehalten binnenin de verontreinigingspluim bij een pomp operatie volgen typisch een tendens zoals weergegeven in **figuur 2**.

De daling van de gehalten ontstaat vertraagd en bij het pompen stabiliseren de gehalten zich op een niveau dat de doelstellingen kan overschrijden. Na het onderbreken van het pompen klimmen de waarden weer omhoog en kunnen zich dan stabiliseren op een hoger niveau. De oorzaken van dit gedrag zijn van diverse oorsprong: aanwezigheid van een vrije fase van verontreiniging of van een vaste fase waarvan het progressieve vloeibaar maken het niveau van de gehalten controleert, de progressieve desorptie van een belangrijke lading verontreiniging geadsorbeerd op de vaste fase van de bodem (kleibodem en/of bodem met sterk gehalte aan organische materie), een watervoerende laag met verschillende lagen met verschillende doorlaatbaarheid (waardoor de gehalten zich stabiliseren in functie van de snelheid van de diffusie van de verontreinigende stoffen overheen de doorlaatbare lagen in de richting van de andere lagen waardoor een verhoogde stroming ontstaat).

Teneinde de kosten gerelateerd aan de extractie en de behandeling van grote hoeveelheden water te minimaliseren, kunnen de pompdebieten verlaagd worden na de fase waarin de gehalten dalen of het pompen kan zelfs overgeschakeld worden naar pompen met tussenpozen. De verlagingen van het grondwaterniveau die hierdoor ontstaan, laten toe om de vastzittende verontreinigende stoffen te mobiliseren in de onverzadigde lagen van de bodem.

De neutralisatie van zones die puur product inkapselen door omsluiting met behulp van fysieke barrières of door uitgraving en verwijdering kan een aantrekkelijk alternatief vanuit economisch oogpunt.

Probleemstelling:

Daling van de gepompte volumes terwijl de grondwaterniveaus niet gedaald zijn.

Mogelijke corrigerende maatregelen:

Inspectie van de putten en de leidingen om eventueel dichtslibben na te gaan. De dichtgeslibde putten, door depositie, door neerslag (IJzer of carbonaten) of bacteriën worden gereinigd door de

injectie van zuren, van dampen of van biocide stoffen. De leidingen die verstopt zijn door de sedimenten worden gespoeld ...

Probleemstelling:

Aanhoudende bruuske toename van de gehalten tijdens het pompen.

Mogelijke corrigerende maatregelen:

Het pompen en de hierdoor veroorzaakte hydraulische gradiënt, trekken een naburige verontreinigingspluim aan die niet werd gedetecteerd in het GO. Deze hypothese wordt getoetst door het uitvoeren van nieuwe boringen en staalnames. In voorkomend geval dient een nieuwe gedetailleerde studie en een nieuwe behandeling opgestart te worden door de verantwoordelijke van deze tweede vervuiling.

Een ander alternatief is het creëren van een nieuwe vervuilingsbron ten gevolge van lekken en verliezen ter hoogte van de pompen, opslagtanks en scheidingselementen van het zuiveringsstation. In dat geval wordt de bron **onmiddellijk verwijderd en indien noodzakelijk wordt de behandelingsinstallatie aangepast.**

13. Validatiemetingen en beslissingsboom stopzetting-voortzetting van de behandeling.

De validatiemetingen beogen om te specificeren of de behandeling op duurzame wijze bereikt worden zodat de sanering of het risicobeheer als beëindigd kunnen beschouwd worden.. Deze maatregelen bestaan uit:

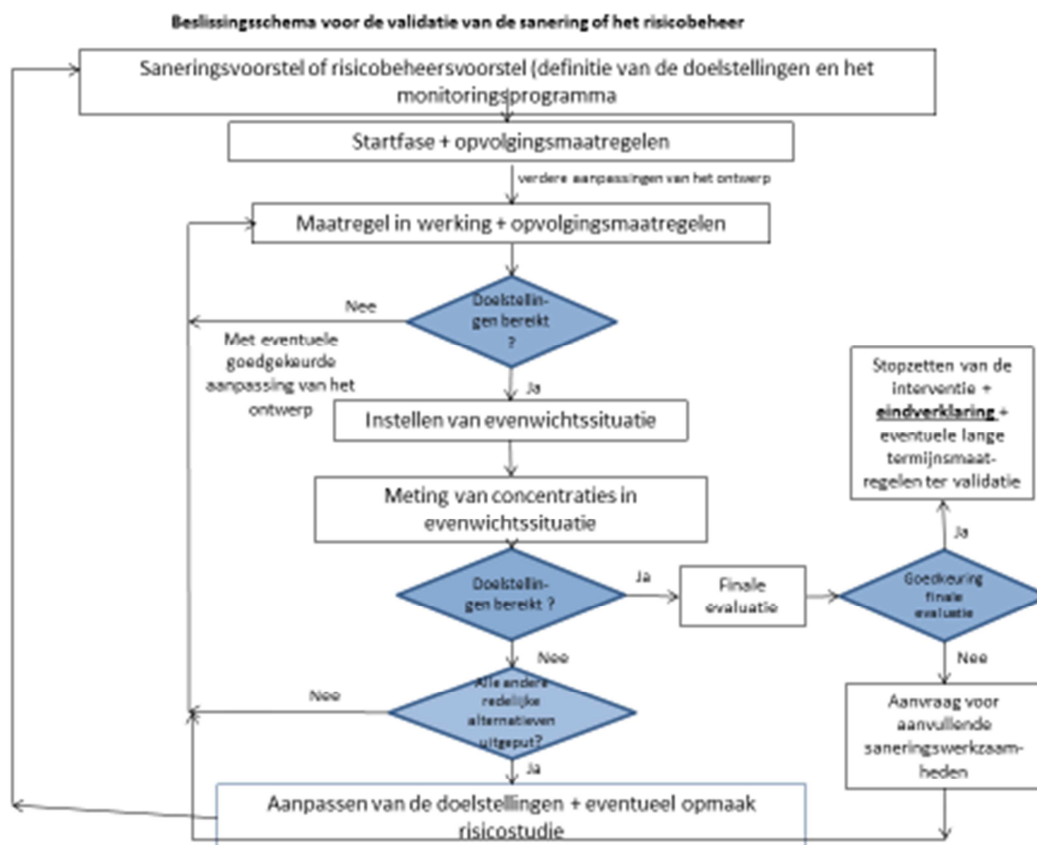
- Meting van de gehalten aan verontreinigende stof in de controle peilbuizen en eventueel in de controleputten indien staalname er mogelijk is. Deze maatregel wordt uitgevoerd terwijl het pomptoestel in werking is. De gemeten gehalten worden vergeleken met de doelstellingen van de sanering of van het risicobeheer. Bij deze validatie meting worden de gehalten gemeten van alle verontreinigende stoffen waarvan de aanwezigheid een tussenkomst vereiste. Men zal ook de gehalten meten van afbraakproducten van verontreinigende stoffen die mogelijk een schadelijke invloed hebben op de gezondheid en het milieu. De gehalten van deze laatste, indien aanwezig, worden dan vergeleken met de interventiewaarden gedefinieerd beschreven in het [Besluit van 02/05/2018](#). In voorkomend geval dienen deze interventiewaarden beschouwd te worden als bijkomende doelstellingen die in rekening dienen te worden gebracht. Indien de doelstellingen bereikt worden, wordt de meting herhaald 3 en 6 maanden na het onderbreken van het pompen om na te gaan of duurzame resultaten bereikt werden.
- Indien de concentraties in evenwicht blijven kan de behandeling als geslaagd worden beschouwd en kunnen de maatregelen ontmanteld worden.
- In het tegenovergestelde geval, dient de pompinrichting weer opgestart te worden.
- Deze aanpak zal de interventiezone in zijn totaliteit beslaan (met andere woorden: alle punten waar stalen werden genomen) en dit voor kleine werven. Wat betreft grote werven kan de aanpak op modulaire manier toegepast worden volgens de gehalten gemeten in de verschillende zones van de werf.
- In het geval van zones met restvervuiling, kan het nuttig zijn om de gemeten gehalten in kaart te brengen en dan te via kriging de curven van gelijke concentraties te bepalen om zo op een eenvoudige wijze de zones van restvervuiling te bepalen. Het gebruik van geo-statistische software zoals SURFER is hierbij zeer nuttig (het in rekening brengen van fictieve waarden aan de buitenzijde van de pluim, die gelijk zijn aan de background gehalten gemeten tijdens de studiewerken laat toe om neveneffecten te vermijden). Deze zones met restverontreiniging kunnen dan het voorwerp zijn van een specifieke behandeling met, indien nodig, de toevoeging van nieuwe pompputten om zodoende de sluiting van de behandeling te versnellen.
- Indien de behandeling door pompen ook beoogt om gehalten in de bodem te behandelen in de verzadigde zones of in de capillaire zones van de waterlaag, zullen de validatiemetingen ook een reeks staalnames en -analyses van de lagen van de getroffen bodem met zich meebrengen. Deze analysecampagne zal rekening houden met alle verontreinigende stoffen waarvan de aanwezigheid een tussenkomst vereiste, en met hun eventuele schadelijke degradatieproducten. De gemeten gehalten zullen vergeleken worden met de objectieve waarden. Indien de vooropgestelde objectieven van de gehalten niet bereikt worden, zal de pompinrichting weer in werking gesteld worden na het toepassen van de eventuele corrigerende maatregelen: tussentijds pompen, injectie van water met of zonder stimulerende chemische agentia.... Ook hier, als het om grote werven gaat kan het onderzoek van de gehalten aangepast worden aan de verschillende zones.
- Als de behandelingsoperaties enkel de behandeling van de verontreinigingsgraad van het grondwater beoogt, kan het nuttig zijn om de residuele verontreinigingsgraad van de bodem te kennen na behandeling in de waterlagen om zo de categorie van het perceel te bepalen op



basis van het klassement dat voorgesteld wordt in artikel 3 van de Verordening van 5 maart 2009. Daartoe kan een staalname en analysecampagne van stalen uitgevoerd worden.

- Bij aanwezigheid van een laag puur product, moeten de verschillende verwijderingscampagnes in de peilbuizen ter controle noodzakelijkerwijs een identificatie van de aanwezigheid van een drijf laag (LNAPL) omvatten en indien mogelijk van een zinklaag (DNAPL). Bij de aanwezigheid van een dergelijke laag mag de lopende behandeling niet stopgezet worden. De zones waarin nog puur product wordt aangetroffen kunnen ruimtelijk worden voorgesteld op kaart om de juiste corrigerende maatregelen te nemen.

De beslissingsboom bij de validatie stap van een behandeling is de volgende:



14. Vervolgmetingen van mogelijk 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, belangrijke seizoensschommelingen van het grondwatervniveau van de watervoerende laag, ...

De inrichting voor de validatie op lange termijn heeft volgende eigenschappen:

- Bepaalde monitoringspeilbuizen die opgesteld zijn binnenin de pluim en stroomafwaarts ervan
- Bepaalde van de oude pompputten en van oude sleuven indien de ligging van de beschikbare monitoringspeilbuizen niet adequaat is.

In tegenstelling tot de metingen van opvolging en validatie, impliceren de metingen ter validatie op lange termijn niet het nemen van stalen en de analyse van de kwaliteit van het grondwater ter hoogte van de monitoringspeilbuizen (en eventueel de putten en sleuven) maar wel een bepaald aantal hiervan (representatief voor de staat van de behandelde pluim en diens situatie stroomafwaarts), voor grotere werven, representatief voor de zone van de werken waar een onzekerheid blijft bestaan over de continuïteit van de interventieresultaten. In elk geval dienen een of meerdere monitoringspeilbuizen op de weg van de behandelde pluim en opwaarts in de richting van gevoelige receptoren inbegrepen worden in de campagne van verwijdering en analyse.

De parameters die onderzocht moeten worden zijn::

- De residuele gehalten aan verontreinigende stoffen. Enkel de verontreinigende stoffen waarvan de aanwezigheid de interventie noodzakelijk maakte, worden geanalyseerd. Ook hun afbraakproducten die een mogelijke schadelijke invloed hebben op de gezondheid en het milieu worden geanalyseerd.
- De residuele gehalten aan eventueel geïnjecteerde stimulerende chemische verbindingen.
- De aanwezigheid van een drijf- of zinklaag
- De beïnvloedende parameters of parameters die getuigen van de natuurlijke afbraak van de verontreiniging indien met deze afbraak rekening werd gehouden in de analyse van de risico's gepaard gaand met residuele gehalten: pH, O₂, CO₂, methaan, nitraat, sulfaat, nutriënten, ijzer, mangaan,... volgens de processen die verantwoordelijk zijn voor de voorspelde natuurlijke afbraak.

Wat betreft de afname van stalen van grondwater, volstaat het zich te baseren op de code van goede praktijk n° 3 van Leefmilieu Brussel « Staalname van bodem, grondwater, van waterbodembodem 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 Leefmilieu Brussel.



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 Leefmilieu Brussel 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 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 objectieven 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 van de sanering of het risicobeheer 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 12 : Checklist voor de aannemers

Rubriek	Controle
Voorafgaande informatie compleet en voldoende (bestek, omschrijving der werken)	
Toezicht op de dimensionering in functie van het specifiek gebruikte materieel en de ervaring van de aannemer	- Toezicht op de dimensionering van het pompennetwerk in functie van de hydrogeologische karakteristieken (aantal pompputten, invloedstraal, afstand tussen de putten, diepte van het grondwater, ...) - toezicht op de verenigbaarheid van het gebruikte materieel en de verwachte polluenten - Evaluatie van het risico op dichtslibben (aanwezigheid van Fe, Ca, ...) - Toezicht op het aantal filters die aan de collector worden geconnecteerd (opgelet indien > 8 filters)
	Navraag doen bij de uitbaters van de netwerken en nagaan of de nodige informatie beschikbaar is
Stabiliteitsstudie van de bovengrondse installaties	Adequate en coherente stabiliteitsstudie met de uit te voeren werken
Stabiliteitsstudie van bovengrondse installaties	Degelijke stabiliteitsstudie coherent met de uit te voeren werken: ontgraving (in geval de watertafel in belangrijke mate wordt neergeslagen)
Gevoelige receptoren	Gevoelige receptoren aanwezig op en in de omgeving van de werf
Energiebronnen	Beschikbaarheid nagaan van de energiebronnen noodzakelijk voor de behandeling
Lozingspunten	Lozingspunten voor het gezuiverde water en bodemlucht en overeenkomstig de karakteristieken van de site. Gevraagde en verkregen toelating
Toegang tot de installatie	Bereikbaarheid van de werf en de mogelijke hinder nagaan voor de noodzakelijke installaties
Technische aspecten van het bestek of van de omschrijving der werken)	Omschrijving van de infiltratie infrastructuur of pompinstallatie (putten, ligging, dimensies,...) en eventueel van injectieputten: gebruikte hoeveelheden, debieten, drukken, onderdrukken, type van pompen
Vaststelling van de benodigde toelatingen en van het normatieve kader dat gerespecteerd moet worden	Controle of de noodzakelijke toelatingen bekomen werden door de opdrachtgever. Controle of de gevraagde inspanning coherent is met het normatieve kader
Vaststelling van specifieke toelatingen die gerespecteerd moeten worden	Vaststelling van specifieke procedures en controle of er in het bestek of in de werkommschrijving mee rekening is gehouden: Stockage en overname van gevaarlijke en/of toxische producten, gasemissies
Definiëring van de communicatielijnen	Identiteit en coördinaten van de toezichthouder, de opdrachtgever, de BIM inspecteur, het bevoegd gezag
Informatie die beschikbaar moet zijn in het veiligheids- en gezondheidsplan van de aannemer	
Vaststelling en aard van de risico's	- Risico's voor gebouwen en bovengrondse infrastructures door de bemaling (stabiliteitsonderzoek) - Preventieve maatregelen om zettingen tegen te gaan - Controle van mogelijke zettingen
	Risico's voor ondergrondse installaties ten gevolge van de bemaling - Preventieve maatregelen om zettingen tegen te gaan - Controle van mogelijke zettingen

Rubriek	Controle
	Elektrisch risico : respect van de AREI, de conformiteit van de installaties en de controlerapporten
	Explosierisico's in geval van creatie van pockets met vluchtige en brandbare verbindingen
	Risico's op bodem- en grondwaterverontreiniging ten gevolge van stockage van gevaarlijke producten en/of verontreinigingen
	Risico's op bodem- en grondwaterverontreiniging ten gevolge van stockage van verontreinigde gronden op de site tijdens het boren van putten of graven van grachten
	Risico op verspreiding van de verontreiniging of van de gebruikte stimulerende chemische producten in geval van injecties
	Risico's voor de gezondheid van het personeel door de aanwezigheid van vluchtige, gevaarlijke en toxische producten op de site.
	Risico op ongevallen: val, brand, elektrocutie
	Risico op het betreden van de werf door onbevoegde personen: diefstal, vandalisme en risico voor de gezondheid
	Risico op werken in besloten ruimtes (kelders, putten,) omwille van slechte luchtkwaliteit
	Klimatologische risico's: bevroren van leidingen in geval van condens en indien discontinue werking van de installatie
	Risico's voor het verkeer bij werken op de openbare weg
Identificatie en hoedanigheid van de risico's	- Risico's verbonden aan het betreden van de site door niet bevoegden (risico op vandalisme en gezondheid) - Risico's verbonden aan het werken in kleine ruimtes (kelders, putten, ...) gelinkt aan de slechte luchtkwaliteit - Risico's op instorting tijdens de graafwerken voor de drains en putten : risico's voor het personeel en de ondergrondse en bovengrondse installaties
Preventieve maatregelen	Voor elk van de vastgestelde risico's, vaststelling en uitvoering van preventieve maatregelen inbegrepen opleiding van het personeel
Corrigerende maatregelen en interventie maatregelen	Voor elk van de vastgestelde risico's, voorbereiding van correctieve maatregelen en interventie maatregelen (met spoed indien nodig)
Te contacteren personen en diensten in geval van een probleem	Voor elk van de vastgestelde risico's, identiteit en coördinaten van te contacteren personen en diensten: brandweer, gemeente, civiele bescherming, nutsbedrijf,...
Vaststelling van mogelijke hinder	Geuren en gevaarlijke dampen voor de omgeving in geval van lekken of verliezen aan de installaties
	Lawaai van de installaties: pompen, generatoren
	Opstopping van de toegangswegen
	Vervuiling van de toegangswegen
Preventieve maatregelen	Voor elk van de vastgestelde hindergevallen, vaststelling en omschrijving van de preventieve maatregelen, bv plaatsing van explosiemeters, alarmsystemen (noodstop en waarschuwingssystemen (toevoer van lucht in de leidingen)

Rubriek	Controle
Correctieve maatregelen en interventie maatregelen	Voor elk van de vastgestelde hindergevallen, voorbereiding van correctieve maatregelen en interventie maatregelen (in spoed indien nodig)
Planning van de interventies	
Monitoringsplan en onderhoud	Planning van controlebezoeken: minimaal maandelijks
	Planning van onderhoud
Vaststelling van defecten en technische problemen	- Defecten aan de uitrusting en aan de installatie: lekdichtheid - Druk- of onderdrukverlies ten gevolgen van het dichtslibben van de pompputten of leidingen - Vroegtijdige uitputting van de voor filtratie gebruikte materialen
Aanbrengen van een alarmsysteem, een automatische noodstop en monitoringssystemen	Controle van het functioneren van de installatie (eventueel op afstand)
Correctieve maatregelen en interventie maatregelen	Voor elk van de mogelijke problemen: voorbereiding van correctieve maatregelen en van interventie maatregelen (in spoed indien nodig)
Toezichtrapportage van de expert	Rekening houdend met de opvolgingsrapporten van de expert, uitvoering van correctieve en optimalisatie maatregelen
Specifieke aandachtspunten voor de geïmplementeerde techniek	
Alle technieken	Opmeten van het niveau van het grondwater ter hoogte van de pompputten, verifiëren van de lekdichtheid van het systeem bij de opstart van de installatie, verifiëren van de lekdichtheid van het systeem bij volledige capaciteit, verifiëren van de efficiëntie van elke pompput, opvolgen van de debieten van de pompputten
Nutsleidingen	Desbetreffend via een geofysische prospectie de eventuele lokalisatie van de nutsleidingen aanvullen. Voorafgaande manuele uitgraving in de nabijheid van de nutsleidingen of in de buurt van potentiële risicozones
Oppompen via hogedrukpomp	Specifieke maatregelen om drooglegging te voorkomen, maatregelen om de vorming van emulsies te vermijden in geval van puur product
Zuigpomp	Controle van de diepte van het grondwater (opgelet indien > 5m-mv), evaluatie van het risico op cavitatie, evaluatie van het risico op explosie (vluchtigheid van de polluenten, materiaal ATEX, ...)
Multi-fasepomp	Controle van de diepte van het grondwater (opgelet indien > 5m-mv), aanbrengen van een installatie voor behandeling van de onttrokken bodemlucht, aanbrengen van een lekdichtheidssysteem voor de pompputten, evaluatie van het risico op ontploffing (vluchtigheid van de polluenten, materiaal ATEX, ...), opvolgen van de onderdruk
Selectief oppompen van puur product	Controle van de viscositeit de vrije fase, controle van de variatie van de grondwatertafel, evaluatie van het ontploffingsrisico (vluchtigheid van de polluenten, materiaal ATEX, ...)
Herinjectie	Evaluatie van de risico's op verspreiding van de polluenten in functie van de lokalisatie van de herinjecteringsputten

Volgende opmerkingen kunnen gemaakt worden:

- Voor aannemers met een VCA certificaat of equivalent zijn de metingen opgesomd in Tabel 12 met betrekking tot veiligheid systematisch van toepassing.

- De checklist van Tabel 12 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 gepompte wateren zal men op systematische wijze de voorkeur geven aan ingegraven buizen om zodoende ongevallen, bevrozing en daden van vandalisme te vermijden.
- De lozingspunten in het rioleringsnetwerk moeten voorzien zijn van een verbinding die toegankelijk is via een toezichtskamer
- In het geval van pompen van water dat verontreinigd is door vluchtige verbindingen moeten, indien de installaties op de werf (putten en zuiveringsstation) zich dichtbij gebouwen bevinden, analyses gebeuren van de lucht ter hoogte van deze gebouwen teneinde het gehalte te meten van vluchtige verbindingen. Deze metingen worden uitgevoerd bij opstart van de werf, eenmaal na 2 weken behandeling en tenslotte om de drie maanden.
- 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: isolatie van de bodem door een HDPE membraan, recuperatie van drainwater en geleiding naar het zuiveringsstation, bescherming tegen neerslag door een doek, recuperatie van regenwater en geleiding naar het zuiveringsstation indien nodig (contact met verontreinigde materialen) of in de richting van het afvoerpunt. Dezelfde maatregelen dienen genomen te worden in geval van opslag van gevaarlijke producten of verontreinigende stoffen op de site.

15.2 Beknopte checklist voor experts bodemverontreiniging

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.

Tabel 13 : Checklist voor experts in bodemverontreiniging

Rubriek	Verificatie
Voldoende en volledige informatie voorafgaand (voorstudies, lastenboek, beschrijving van de werken, ...)	
Kenmerken van de bodem en de te behandelen watervoerende lagen	Bodemsamenstelling: opeenvolging en eigenschappen van de bodemlagen, de aanwezigheid van bodemlagen met verschillende doorlaatbaarheid, adsorptiecapaciteit, homogeniteit, ... Dichtheid van de waarnemingen voldoende?
	Hydrodynamische karakteristieken van de bodem: metingen van de hydraulische conductiviteit, pomptesten, stijghoogtemetingen en stromingsrichting van het grondwater, seizoenale variaties van de stijghoogte, dikte van de aquifer, isolatie van de aquifer, eventueel verschillende aquifers. Infiltratiecapaciteit in geval herinjectie voorzien wordt. Dichtheid van de waarnemingen voldoende en voldoende gedetailleerd?
De aanwezige en/of te behandelen verontreinigingen	Aard van de aanwezige en/of te behandelen verontreinigingen, verdeling van de concentraties, bron nog actief? Evaluatie van de vuilvracht in de verschillende fases van de bodem, verspreidingspotentieel (retardatiefactor), aanwezigheid van zak/drijfslag, aanwezigheid van neerslag (vast of amorf), verwachte natuurlijke afbraak (gemeten evolutie, potentiële natuurlijke afbraak)
Eigenschappen van de infrastructuur op de site en de onmiddellijke omgeving	Inventaris en kartering van de bovengrondse gebouwen en infrastructuur. Inventaris en kartering van gekende ondergrondse structuren en nutsleidingen
Stabiliteitsstudie voor bovengrondse structuren	Stabiliteitsstudie nodig? Indien wel, zijn ze adequaat en in overeenstemming met de uit te voeren werken?
Stabiliteitsstudie voor ondergrondse structuren	Stabiliteitsstudie nodig? Indien wel, zijn ze adequaat en in overeenstemming met de uit te voeren werken?
Risicogroepen	Goed geïdentificeerde risicogroepen aanwezig op de site of in de omgeving
Technische aspecten van het lastenboek of van de beschrijving van de werken	Beschrijving van de pompinstallatie (putten, drains, ligging, grootte, ...) , vast te stellen hoeveelheden: debiet, druk, onderdruk, pomptype...
	Functionele modus van de installatie: continue of intermitterend. Verstoppingsrisico's. Mogelijke corrigerende en optimaliserende maatregelen.
	A priori verificatie van de werking van de installatie: richting en wijze van de grondwaterstroming, omvang van de captatiezone, effectiviteit van het afvangen van opgeloste verontreinigingen, effectiviteit van het afvangen van het puur product
	Controle of mogelijks een verschillende zuiveringswijze nodig is voor de kern en voor de pluim van de verontreiniging
	Objectifs du traitement sont bien identifiés
	Inschatting van de duur van de behandeling en noodzaak tot het overgaan op bijkomende inrichtingen: injectie van stimulerende chemische producten
	Controleer of de beschrijving van de zuiveringinstallatie voldoende gedetailleerd is. Zijn fysische hoeveelheden voor de installatie (volume, grootte, prestaties, ...) coherent aan parameters van de site (debieten, verwachte concentraties, condensaat ...)?
Lozingspunten	Lozingspunten van het behandelde water en de behandelde gassen van de zuiveringinstallatie geïdentificeerd en verenigbaar met de kenmerken van de site. Vergunningen opgevraagd en verkregen
Identificatie van de benodigde vergunningen en de te respecteren wetgeving	Controleer of de benodigde vergunningen zijn opgevraagd door de opdrachtgever. Controleer of de te leveren prestaties coherent zijn aan het wetgevend kader dat van kracht is. Zijn de voorziene procedures conform aan de Codes van Goede Praktijk en andere aanbevelingen van het BIM
Identificatie van specifieke procedures die gevolgd moeten worden	Identifiëren van de specifieke procedures en nagaan of deze zijn opgenomen in het lastenboek of in de beschrijving van de werken: vervoer van gevaarlijke producten (condensaats), gasvormige lozingen
De communicatielijnen zijn gedefinieerd	Identiteit en gegevens van de aannemer, de opdrachtgever, de BIM-agent en de bevoegde autoriteiten zijn bekend
Identificatie en aard van de risico's	Risico's voor gebouwen en andere bovengrondse infrastructuur ten gevolge van de verlaging (stabiliteitsstudie)
	Risico's voor ondergrondse infrastructuur ten gevolge van de verlaging (stabiliteitsstudie)
	Risico's voor bovengrondse infrastructuur ten gevolge van injectie in geval van overstromingen
	Explosiegevaar door de ophoping van de brandbare vluchtige stoffen in de grond
	Risico op verontreiniging van de grond en het grondwater door de opslag van gevaarlijke producten
	Risico op verontreiniging van de grond en het grondwater door de opslag van verontreinigende bodem op de site (tijdens de installatie van putten of gleuven)
	Risico op verspreiding van verontreinigende stoffen of chemische stoffen bij injectie
	Klimatologische risico's: bevriezen van de leidingen, ...
	Risico's verbonden aan het verkeer indien structuren aanwezig op de openbare weg
	Instortingsrisico tijdens de aanleg van drains en putten: risico voor het personeel en bovengrondse en ondergrondse structuren



Rubriek	Verificatie
Preventieve maatregelen	Voor ieder geïdentificeerd risico, identificatie en implementatie van preventieve maatregelen inclusief opleiding van het personeel
Personen en diensten te contacteren in geval van problemen	Voor ieder geïdentificeerd risico, identiteiten en gegevens van de personen of diensten die gecontacteerd moeten worden: brandweer, gemeente, civiele bescherming, nutsmaatschappij
Identificatie van de mogelijke hinder	Geuren en gevaarlijke dampen in de buurtomgeving in het geval van lekkages/verliezen aan de installaties
	Geluid van de apparatuur: pompen, generatoren, ...
	Overbelasting van de wegen
	Vervuilen van de wegen
Preventieve maatregelen	Voor iedere geïdentificeerde hinder, identificatie en beschrijving van de preventivemaatregelen
Installatie van een alarmsysteem	
Planning en inhoud van de opvolgingsmaatregelen, de validatie en de opvolgingsmaatregelen op lange termijn	
Inrichtingen voor de opvolging	Beschrijving, ligging en in kaart brengen van de inrichtingen voor de opvolging: controlepeilputten, staalnamepunten van het opgepompte en gezuiverde water, staalnamepunten van de dampen die vrijkomen, eventueel staalname van omgevingslucht, debietmeters,... rekeninghoudend met de te beschermen receptoren
Opvolgingsparameters	Grondwaterpeilmetingen en isohypsen, opgepompte debieten, gehalten in het opgepompte grondwater, massabalans voor de verontreinigende stoffen, residuele concentraties aan verontreinigende stoffen en afbraakproducten (indien schadelijk) in de watervoerende laag en de verdeling, berekening van de invloedzone van het pompen, de gehalten in het opgepompte grondwater ter hoogte van de ingang en de uitgang van de zuiveringsinstallatie, de gehalten in het opgepompte bodemlucht ter hoogte van de ingang en de uitgang van de zuiveringsinstallatie, aanwezigheid en dikte van de vrije fase, injectiedebieten, laterale en verticale omvang van de pluim, verspreiding van de pluim richting risicogroepen.
Optimalisatie-parameters	Tijdsschema voor het pompen, moduleren van de debieten per zone, optimaliseren van de onderdruk (bioslurping), injectie van stimulerende producten, plaatsen van nieuwe putten, aanpassing van de dieptes van de filters, ...
Rapportage	Planning voor het indienen van het eerste tussentijdse verslag en de daaropvolgende tussentijdse verslagen
	Zijn de verzamelde gegevens toereikend voor deze opmaak van deze rapporten?
Validatie van de resultaten	Zijn de verzamelde gegevens toereikend voor het uitvoeren van deze fase: de residuele concentraties in de pluim, de rebound, de beoordeling van de vuilvracht
Risico-studie indien aanpassing van de objectieven	Zijn de verzamelde gegevens toereikend voor het uitvoeren van deze fase?
Monitoring op lange termijn	Inrichtingen voor de monitoring: het bemonsteren van peilputten
	Op te volgen parameters: concentraties aan verontreinigende stoffen en afbraakproducten, parameters voor het opvolgen van de natuurlijke afbraak indien hiermee rekening wordt gehouden

16. Bibliografie

Bij de redactie van deze code, werden volgende bibliografische bronnen geraadpleegd::

- Methods for Monitoring Pump and Treat Performances, Robert M. Cohen et al., USEPA, June 1994
- LNAPL Distribution and Recovery Model (LDRM), Volume 1 : Distribution and Recovery of Petroleum Hydrocarbon Liquids in Porous Media, Regulatory and Scientific Affairs Department, ARI Publication 4760, January 2007
- Ground Water Issue, Suggested Operating Procedures for Aquifer Pumping Tests, Paul S. Osborne, USEPA, 1993
- Estimation of Free Hydrocarbon Volume from Fluid Levels in Monitoring Wells, R.J; Lenhard and J.C. Parker, 1990, Ground Water, Vol 28, N° 1
- Capture-Zone Type Curves : A Tool for Aquifer Cleanup, Iraj Javandel and Chin-Fu Tsang, 1986, Ground Water, Vol 24, N° 5
- Principles and Practices of Bioslurping, Matthew C. Place et al., 2001, Battelle Press.
- Achilles, Veiligheid, gezondheid en milieuzorgsysteem voor on-site bodemsaneringwerken, OVAM 2001
- Code van goede praktijk – Pump and Treat, Deel 1, Grondwateronttrekkingsaspecten, OVAM 2002.