

Code van goede praktijk n° 10

Thermische desorptie bij gemiddelde temperaturen

Inhoudstafel

1. INLEIDING	4
2. BESCHRIJVING VAN TECHNIEKEN EN WERKINGSPRINCIPES	6
2.1. ALGEMENE BESCHRIJVING	6
2.2. WERKINGSPRINCIPES	7
3. BESCHRIJVING VAN TECHNISCHE VARIANTEN	9
3.1. VERWARMINGSELEMENTEN EN ONTTREKKINGSPUNTEN	9
3.2. ENERGIEBRONNEN	10
4. BEHANDELINGSDOELSTELLINGEN: KERN VS PLUIM	12
5. MEEST GUNSTIGE VERONTREINIGINGEN EN OMSTANDIGHEDEN (KWALITATIEVE BEOORDELING)	13
6. SCREENING VAN DE HAALBAARHEID	14
6.1. VERZADIGDE OF ONVERZADIGDE ZONE	14
6.2. AARD VAN DE BODEM	14
6.3. EIGENSCHAPPEN VAN DE VERONTREINIGING	16
7. UITGEBREID ONDERZOEK NAAR DE HAALBAARHEID	20
7.1. ONDERZOEK VAN DE ZONE, DE BEPERKINGEN, DE AANDACHTSPUNTEN	20
7.2. ONDERZOEK VAN DE GROND EN VERONTREINIGING	21
7.3. LABTESTEN	22
7.4. PILOOTTEST	22
8. BESCHRIJVING VAN EEN TYPE-INSTALLATIE	24
9. BESCHRIJVING VAN HET TE INSTALLEREN SYSTEEM	25
10. BEPERKEN VAN DE INVLOED VAN DE BEHANDELING OP DE OMGEVING: GEUR, GELUID, STOF,...	27
10.1. HINDER VOOR DE LUCHTKWALITEIT	27
10.2. BRAND- EN EXPLOSIE-RISICO'S	27
10.3. GELUIDSHINDER	27
10.4. RISICO'S VOOR NABURIGE GRONDWATERWINNINGEN	28
10.5. RISICO'S VOOR VEILIGHEID EN GEZONDHEID VAN DE WERKERS	28
10.6. CONFORMITEIT MET BESTAANDE WETGEVING	28
11. OPVOLGING VAN DE BEHANDELING	30
11.1. OPVOLGING TIJDENS DE BEHANDELING	30
11.2. METING VAN LOZINGEN NAAR DE ATMOSFEER	31
11.3. CONTROLE VAN HET BEREIKEN VAN DE DOELSTELLINGEN	33
11.3.1. <i>Meting tijdens de behandeling</i>	33
11.3.2. <i>Meting van concentraties in de bodem</i>	34
11.3.3. <i>Meting van drijfslagen</i>	35
12. RAPPORTAGE	36
13. VALIDATIEMETINGEN EN BESLISBOOM VOOR HET STOPZETTEN-VERDERZETTEN VAN DE BEHANDELING	36
14. LANGE TERMIJN MONITORING	38
15. AANBEVELINGEN OP HET VLAK VAN GEZONDHEID, VEILIGHEID EN ORGANISATIE	39

15.1	BONDIGE CHECKLIST VOOR DE AANNEMERS	39
15.2	BONDIGE CHECKLIST VOOR DE DESKUNDIGEN	41
16	BIBLIOGRAFIE.....	44

1. INLEIDING

Deze code van goede praktijk handelt over de behandelingstechniek thermische desorptie.

Om het kader van de code te schetsen, wordt eerst dieper ingegaan op de verschillende mogelijke thermische behandelingstechnieken.

Thermische behandelingsmethodes omvatten alle technieken die de bodem opwarmen om organische of anorganische, vluchtige of semi-vluchtige verontreinigingen te onttrekken door vervluchtiging of te vernietigen. Onderstaande methodes kunnen onderscheiden worden :

- **Thermische desorptie.** Bij deze techniek wordt een onderscheid gemaakt tussen verschillende toepassingstemperaturen :
 - o thermische desorptie bij lage temperatuur, $<100^{\circ}\text{C}$: deze techniek is een variant van venting of BLE (BodemLuchtExtractie) waarbij de bodem opgewarmd wordt door injectie van damp, warme lucht of elektroden om zo de vervluchtiging van organische verontreinigingen te versnellen. Deze techniek wordt beschreven in Code van goede praktijk n°2 ;
 - o thermische desorptie bij gemiddelde temperaturen, van 100°C tot ongeveer 400°C : deze techniek kan zowel *in situ*, *on site* of *ex situ* toegepast worden. Bij deze techniek wordt de grond door conductie opgewarmd en niet door convectie (verplaatsing van materie zoals warme lucht of damp in de bodem) ;
 - o Thermische desorptie bij hoge temperatuur, van 320°C tot ongeveer 560°C . Deze behandelingswijze wordt meestal *on site* of *ex-situ* uitgevoerd omdat de gronden worden uitgegraven en voorbehandeld (sorteren, zeven, drogen,...) en vervolgens op de site behandeld met behulp van mobiele eenheden of buiten de site in een reinigingscentrum. Dit type reiniging wordt meestal gekoppeld aan verbranding ;
- **Verbranding.** Deze techniek bestaat uit aerobe verbranding waarbij organische verontreinigingen omgezet wordt naar waterdamp, CO_2 en verbrandingsresten (assen). De gronden worden voorbehandeld (zeven, drogen,...) en alleen deeltjes met afmetingen van enkele centimeters mogen in de oven. In het algemeen bestaat de verbranding uit twee fases :
 - o Een eerste kamer waarin de verontreiniging wordt gedesorbeerd en vervluchtigd (temperatuur $> 400^{\circ}\text{C}$;
 - o Een tweede verbrandingskamer waarin de organische verontreinigingen worden vernietigd (temperatuur $> 1000^{\circ}\text{C}$) ;
- **Pyrolyse.** Bij deze methode worden de uitgegraven gronden in een oven gebracht en verwarmd in aanwezigheid van een weinig zuurstof (gezien het onmogelijk is om alle zuurstof te verwijderen) tot temperaturen tussen 150°C en 540°C . Deze methode is dus zeer gelijkaardig aan verbranding. Het verschil ligt in het feit dat de techniek wordt uitgevoerd bij lagere temperaturen en in afwezigheid van zuurstof ;
- **Vitrificatie** *ex situ* wordt uitgevoerd in ovens die toelaten om zeer hoge temperaturen te bereiken ($1\ 600$ tot $2\ 000^{\circ}\text{C}$) bij het toedienen van vervuilde grond. Deze temperaturen worden bereikt door het smelten van de bodem met behulp van elektriciteit, inductie, een plasmatoorts, oxyfuelverbranding, elektroverbranders of een microgolfoven... De organische verontreinigingen alsook bepaalde vluchtige metaalcomponenten (kwik...) worden gepyrolyseerd en vervluchtigd bij zeer hoge temperaturen. Waterdamp en de gepyrolyseerde producten worden gerecupereerd en naar een zuiveringseenheid gebracht voor lozing in de atmosfeer. De inorganische componenten maar ook asbest en radionucliden worden geïncorporeerd in de verglaasde matrix die zeer stabiel, inert en zeer weinig uitloogbaar is. Bij *in situ* vitrificatie



worden elektroden in grafiet gebruikt die in de kern van de verontreiniging worden aangebracht (onverzadigde zone). Er wordt een elektrische stroom aangebracht tussen de elektroden; doordat stroom door de bodem loopt, wordt de bodem opgewarmd tot hoge temperaturen (1 600 à 2 000 °C), wat zorgt voor smelten van de bodem (en vervolgens een vitrificatie bij afkoelen). De elektroden worden dieper in de bodem gebracht naarmate de vitrificatie vanaf het bodemoppervlak naar de diepte toe optreedt. De organische componenten worden vervolgens vernietigd, daarna vervluchtigd vooraleer ze naar een specifieke zuiveringseenheid worden geleid. Daarom moet de te behandelen zone onder een afzuigkap op onderdruk geplaatst worden.

In het kader van de code van goede praktijk, zal enkel thermische desorptie *in situ* bij gemiddelde temperaturen (100 à 400 °C) uitgewerkt worden.

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 TECHNIEKEN EN WERKINGSPRINCIPES

2.1. ALGEMENE BESCHRIJVING

In situ thermische desorptie bestaat uit het verhogen van de temperatuur van de bodem om de (semi-) vluchtige verontreiniging te vervluchtigen

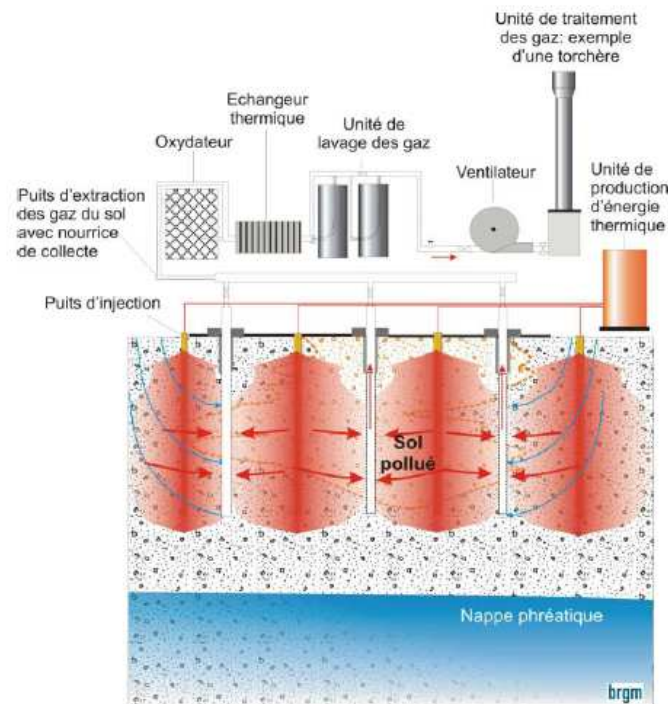
Thermische conductie (figuur 1) is gebaseerd op thermische overdracht van warmte van een zone met hoge temperatuur naar een zone met lagere temperatuur en wordt beschreven door de wet van Fourier. De grond wordt verwarmd door verwarmingselementen die zorgen voor een temperatuursverhoging van de bodem door conductie met als gevolg :

- het versnellen van de desorptie van aan de bodemmatrix geadsorbeerde verontreiniging. Desorptie is het omgekeerde proces van sorptie, waardoor de gesorbeerde moleculen worden losgemaakt van het substraat ;
- Het verhogen van de dampdruk van de componenten met als doel ze te vervluchtigen en te onttrekken aan de gasfase. De warmte verandert de dampdruk van de pollut, waardoor deze vervluchtigt.

Vervolgens worden de gasvormige emissies, ontstaan door desorptie gereinigd. De gassen kunnen gereinigd worden door thermische oxidatie (verbranding), katalytische oxidatie, captatie op actief kool... Ter herinnering, code van goede praktijk AUX 2 gaat over het reinigen van onttrokken bodemgassen.

Het systeem van *in situ* thermische desorptie bestaat globaal gezien uit volgende onderdelen :

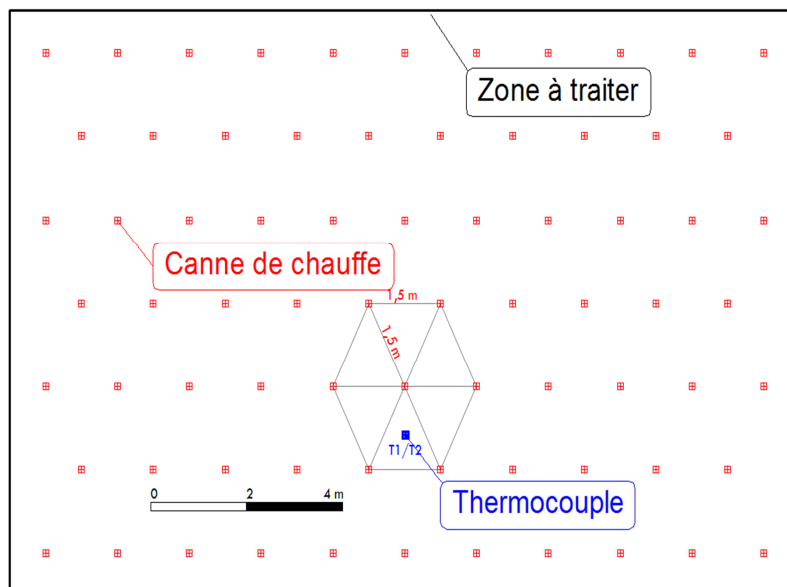
- verticale en horizontale injectiepunten voor warmte verbonden met de verwarmingsunit (warme lucht) ;
- Verticale en horizontale onttrekkingspunten voor gassen en damp. De onttrekkingspunten zijn meestal met elkaar verbonden door middel van een gemeenschappelijke collector die de onttrekkingspunten met de vacuümpompen verbindt.
- Zuiveringsunit voor gassen. De unit hangt af van het type proces dat gebruikt wordt en kan volgende componenten bevatten : een druppelvanger, een gaswasser, een warmtewisselaar indien de gassen moeten afgekoeld worden om de zuiveringsinstallatie te beschermen, een fakkel, een unit voor katalytische of thermische oxidatie, een actief kool filter, een biofilter, enz.



Figuur 1 : principeschema van in situ thermische desorptie (proces bij gemiddelde temperatuur – conductieve verwarming).

2.2. WERKINGSPRINCIPES

Het opwarmen van de bodem gebeurt door conductie vanaf verwarmingselementen. Verticale (of horizontale) buisvormige verwarmingselementen worden in de bodem geplaatst in de kern van de verontreiniging volgens een raster in een gelijkzijdige driehoeksconfiguratie (figuur 2). Op die manier wordt een gelijke afstand tussen de verwarmingselementen verkregen. De afstand tussen de verwarmingselementen zit in het algemeen tussen 1 en 2,5 m. Om de bodemtemperatuur op te volgen, worden thermokoppels in de bodem geïnstalleerd in het midden tussen 2 verwarmingselementen, wat overeenkomt met het koudepunt van de installatie.



Figuur 2 : Optimale plaatsing van de elementen volgens een gelijkzijdige driehoek

De onttrokken bodemgassen worden naar een verbrandingskamer geleid (800-900°C), of, in aanwezigheid van een overmaat aan zuurstof, omgezet door thermische oxidatie in CO₂ en H₂O.

Boven 100°C, vinden volgende reacties plaats in de buurt van de verwarmingselementen en in de verbrandingskamer :

Pyrolyse : $C_xH_y \rightarrow xC \text{ (coke)} + y/2 H_2$

Hydrolyse : $C_xH_y + 2xH_2O \rightarrow xCO_2 + (2x+y/2) H_2$

Oxidatie : $C_xH_y + (x+y/4) O_2 \rightarrow xCO_2 + y/2 H_2O$

In functie van het type behandelde verontreiniging (gechloreerde solventen, pesticiden, enz.), dient dikwijls een tweede reinigungsstap met actief kool, katalytische oxidatie of gaswassing toegepast te worden als chemische bestanddelen zoals S, Cl, Br, Hg of NO_x zich in de uitlaatgassen bevinden.

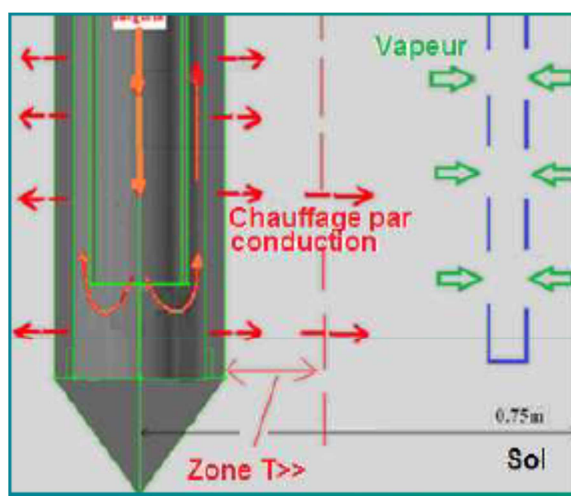
De lezer wordt verwezen naar de code van goede praktijk AUX 2 voor de behandeling van gassen.

3. BESCHRIJVING VAN TECHNISCHE VARIANTEN

3.1. VERWARMINGSELEMENTEN EN ONTTREKKINGSPUNTEN

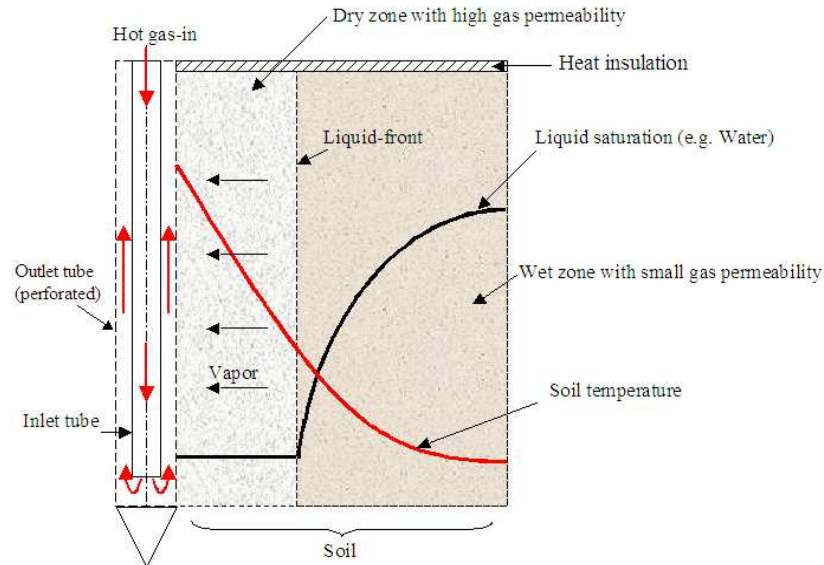
Er bestaan verschillende systemen wat betreft de verwarmingselementen en de onttrekkingspunten. De verwarmingselementen en onttrekkingspunten kunnen losstaan van elkaar (figuur 3) of gecombineerd worden in eenzelfde buis.

Wanneer de verwarmingselementen en onttrekkingspunten apart voorzien worden (figuur 3), wordt er door een vacuümpomp een onderdruk gecreëerd om de vervluchtigde verontreiniging op de zuigen naar het oppervlak voor zuivering.



Figuur 3 : Afbeelding van thermische behandeling – losgekoppeld systeem (technologie NSR, TPSTECH)

Wanneer de verwarmingselementen en onttrekkingspunten gecombineerd worden, dan worden de verwarmingselementen opgebouwd uit twee coaxiale buizen in staal waarin warme lucht circuleert (figuur 4). De binnenste tube (die de warme lucht toevoert) is niet geperforeerd, in tegenstelling tot de buitenste tube (afvoer van de gassen). De warme gassen blijven altijd in de buizen en komen dus niet in de bodem. De gassen circuleren doorheen de buizen en geven hun warmte af aan de buizen die deze vervolgens door conductie afgeven aan de bodem. Door de conductieve warmte, worden de organische verontreinigingscomponenten in de bodem vervluchtigd. De vervluchtigde verontreiniging verplaatst zich naar de verwarmingselementen door een onderdruk gecreëerd door het venturi effect als gevolg van circulatie van warme lucht. Daar komt de verontreiniging in contact met de zone op hoge temperatuur ($>500^{\circ}\text{C}$) waar het grootste deel van de verontreiniging in situ wordt vernietigd. Het niet-vernietigde deel wordt door de warme lucht naar de verbrandingskamer ($800-900^{\circ}\text{C}$) geleid, of in aanwezigheid van een overmaat aan zuurstof, omgezet door thermische oxidatie in CO_2 en H_2O .



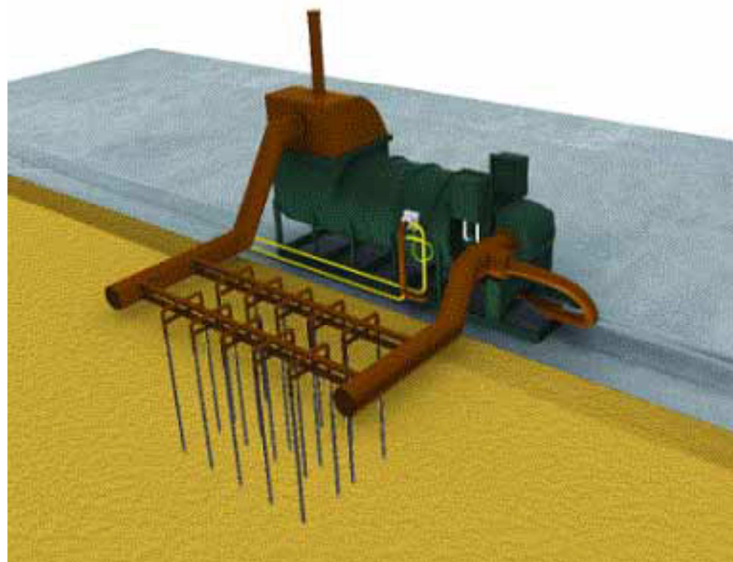
Figuur 4 : Afbeelding van thermische behandeling – gecombineerd systeem (Deep-Green)

3.2. ENERGIEBRONNEN

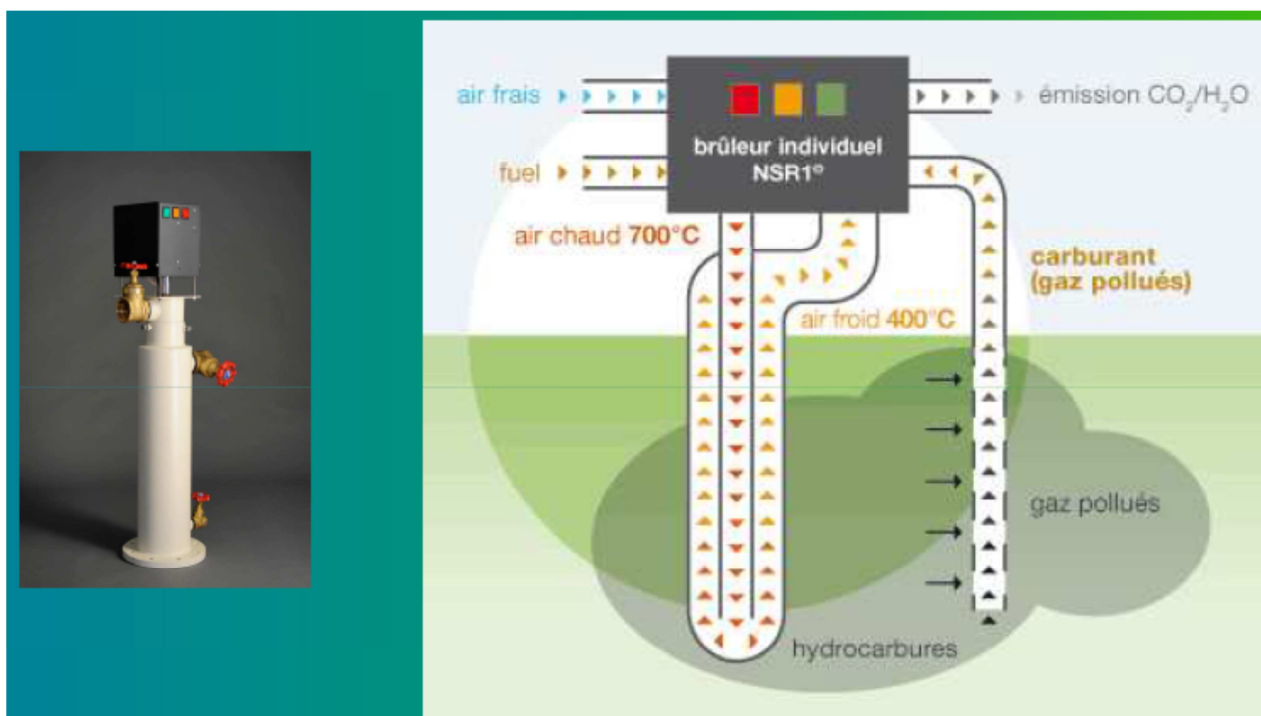
Om de grond op te warmen, zijn verschillende energiebronnen mogelijk :

- mazout ;
- gas ;
- elektriciteit ;

Daarnaast is het mogelijk om ofwel een centraal verwarmingssysteem te gebruiken (figuur 5), ofwel te werken met individuele verbranders op de verwarmingselementen (figuur 6). Op deze manier kan het systeem aangepast worden, bijvoorbeeld in functie van de aanwezige infrastructuur op de site.



Figuur 5 : centraal verwarmingssysteem. In situ thermopile (Deep-Green).



Figuur 6 : individuelle brander op een verwarmingselement (bron : thermische behandeling van LNAPL. Toepassing van het proces van NSR City[®], GTS INTERSOL 2012)

4. BEHANDELINGSDOELSTELLINGEN: KERN VS PLUIM

In situ thermische desorptie door conductie om verontreiniging te vervluchten/oxideren/pyrolyseren/hydrolyseren wordt meestal gebruikt om de kern van een verontreiniging aan te pakken in de onverzadigde zone, de capillaire zone of de zone waarin de grondwatertafel fluctueert.

De techniek wordt meestal toegepast wanneer de klassieke *in situ* technieken hun limiet bereikt hebben, en in de gevallen waarbij beperkingen aanwezig zijn (vaak in bebouwde omgeving of diepe verontreiniging) en de volledige verontreiniging niet kan gesaneerd worden.

De techniek laat toe om grote vuilvrachten aan (semi-) vluchtige verontreinigingscomponenten) snel te onttrekken. De verontreiniging kan hierbij aanwezig zijn onder gesorbeerde vorm, als residueel puur product in de poriën of als aparte puur product fase.

5. MEEST GUNSTIGE VERONTREINIGINGEN EN OMSTANDIGHEDEN (KWALITATIEVE BEOORDELING)

De techniek kan succesvol toegepast worden voor de behandeling van een bodemverontreiniging wanneer volgende omstandigheden aanwezig zijn :

- De verontreiniging is vluchtig ;
- De verontreiniging is arm aan S, Cl, Br, Hg of NO_x ;
- De verontreiniging is niet corrosief, is geen oxidans of reductans ;
- De verontreiniging is niet sterk gesorbeerd aan de vaste bodemfase ;
- De bron van de verontreiniging is verwijderd zodat er geen aanlevering meer is van verontreiniging naar de bodem ;
- Gunstige geologie
- De bodem heeft een goede doorlatendheid ;
- De bodem heeft een goede thermische geleidbaarheid ;
- De bodem bevat weinig water ;
- De bodem heeft een homogene samenstelling ;
- Er is geen risico dat de bodem gaat krimpen als gevolg van dehydratatie ;
- Afwezigheid van venige lagen of lenzen die de organische verontreiniging sterk kunnen sorberen ;
- De zone is goed toegankelijk ;
- Afwezigheid van ondergrondse infrastructuur of infrastructuur gevoelig voor warmte ;
- Verzamelde gegevens tijdens het gedetailleerd onderzoek zijn volledig en gedetailleerd; verticale afperking zeker (opgelet in het kader van technische onmogelijkheid om in een bepaalde richting af te perken) ;
- De verontreinigingsvracht is op een homogene manier verdeeld, afwezigheid van puur product in ondergrondse holtes ;
- Er is energie beschikbaar op de site (gas).

6. SCREENING VAN DE HAALBAARHEID

Gezien met de techniek temperaturen beoogd worden, kan hij niet worden toegepast in zones die door gevoelige infrastructuur, funderingen of nutsleidingen.

6.1. VERZADIGDE OF ONVERZADIGDE ZONE

In situ thermische behandeling door conductieve opwarming van de bodem tot temperaturen tussen 100 en 400°C is een opkomende techniek. Gezien de hoge kostprijs, wordt de techniek meestal enkel toegepast wanneer de andere behandelingstechnieken niet kunnen toegepast worden of wanneer de behandeling moet uitgevoerd worden op een korte tijdsduur (2 à 3 maanden) zonder dat kost een doorslaggevende factor is.

Toch kan de techniek ook onder onderstaande omstandigheden toegepast worden :

- ter hoogte van de verzadigde zone op voorwaarde dat de aanvoersnelheid van water naar de te behandelen zone, lager is dan de verdampingssnelheid van water. Deze variant is eerder een theoretische variant gezien eerder zal gekozen worden voor een verlaging van de grondwatertafel als grond in de verzadigde zone met aangepakt worden.
- voor de verdamping van een drijfslaag (densiteit < 1 ; of ook LNAPL: Light-Non-Aqueous-Phase-Liquid). In dit geval wordt de verontreiniging verwijderd door verdamping of doordat het gestript wordt door stoom. Gezien de warmte wordt toegediend aan het bovenste deel van het grondwater, zal het grondwater zakken als gevolg van verdamping. De mate waarin het grondwater daalt, moet bijgevolg opgevolgd worden.

6.2. AARD VAN DE BODEM

De techniek is het meest effectief wanneer de onverzadigde zone homogeen en permeabel is en een goede thermische conductiviteit heeft. Het komt echter niet veel voor dat een bodem al deze eigenschappen bezit. Toch kan de techniek onder andere omstandigheden toegepast worden omwille van volgende redenen:

- Conductieve verwarming in vele omstandigheden toe te passen, zelfs in slecht doorlatende bodems, gezien de thermische conductiviteit slechts weinig varieert naargelang de aard van de bodem. In de onverzadigde zone, ligt de thermische geleidbaarheid in het algemeen tussen 0,4 en 1 W.m⁻¹.K⁻¹ (tabel 1).
- Bij de opwarming wordt water verdampt, wat leidt tot een uitdroging van de bodem, wat de doorlatendheid verhoogt en soms leidt tot het creëren van breuken. Op die manier wordt de doorlatendheid voor gasen verbeterd. Figuur 7 stelt de drie fases voor tijdens een temperatuursverhoging van een zandige bodem in de onverzadigde zone.
Tijdens de eerste fase van opwarming, stijgt de temperatuur tot 100°C, het kookpunt van water. Tijdens de tweede fase, blijft de bodemtemperatuur stabiel tot het bodemwater verdampt is. De duurtijd van dit plateau is dus direct afhankelijk van de vochtigheidsgraad en de verdampingssnelheid. Tijdens deze fase wordt water verdampt en wordt verontreiniging gestript door stoom. In het geval dat een drijfslaag wordt behandeld, wordt een plateau dicht bij 100°C vastgesteld in functie van het kookpunt van de verontreiniging/water.



De derde fase, gekenmerkt door een verhoging van de bodemtemperatuur boven 100°C, begint wanneer het water verdampt is. De temperatuur stijgt bijgevolg snel en zorgt voor een vervluchtiging van de verontreiniging. In het geval van een behandeling in de verzadigde zone, zal deze derde fase niet plaatsvinden. Eenvoudig voorgesteld, wordt de flux aan warmte die door een vaste fase beweegt op een unidirectionele wijze, als volgt uitgedrukt :

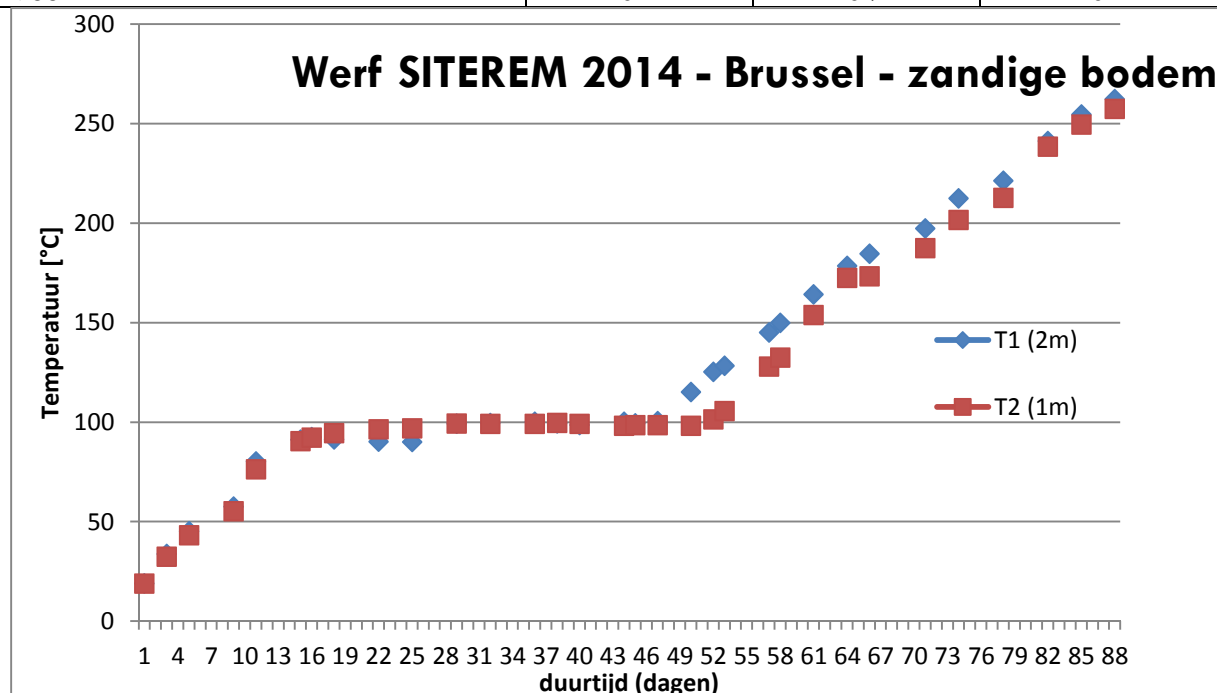
$$\Phi = -\lambda \cdot S_{nx} \cdot \frac{dT}{dx}$$

Waarbij

- Φ : warmteflux in watt (W);
- λ : thermische geleidbaarheid van het materiaal (in $W.m^{-1}.K^{-1}$) (tabel 1) ;
- S_{nx} : oppervlak, loodrecht op de warmteflux (loodrecht tov de x-as) ;
- dT : temperatuursverschil (in kelvin) ;
- x : beschouwde as.

Tabel 1 : Waarden voor de thermische geleidbaarheid van verschillende ondergrondtypes. Bron : Augsburger Forages (11 mei 2011): Berekening van geothermische boringen.

Type ondergrond	Thermische geleidbaarheid $W m^{-1} K^{-1}$		
	min	max	nominaal
Droge klei	0.4	1.0	0.6
Waterverzadigde klei	0.9	2.3	1.4
Droog zand	0.3	0.8	0.5
Waterverzadigd zand	1.5	4.0	2.3
Droog grind/stenen	0.4	0.5	0.4
Waterverzadigd grind/stenen	1.6	2	1.7
Veen	0.2	0.7	0.4



Figuur 7 : Evolutie van de temperatuur op 1 en 2 m diepte tijdens een behandeling voor een mazoutverontreiniging

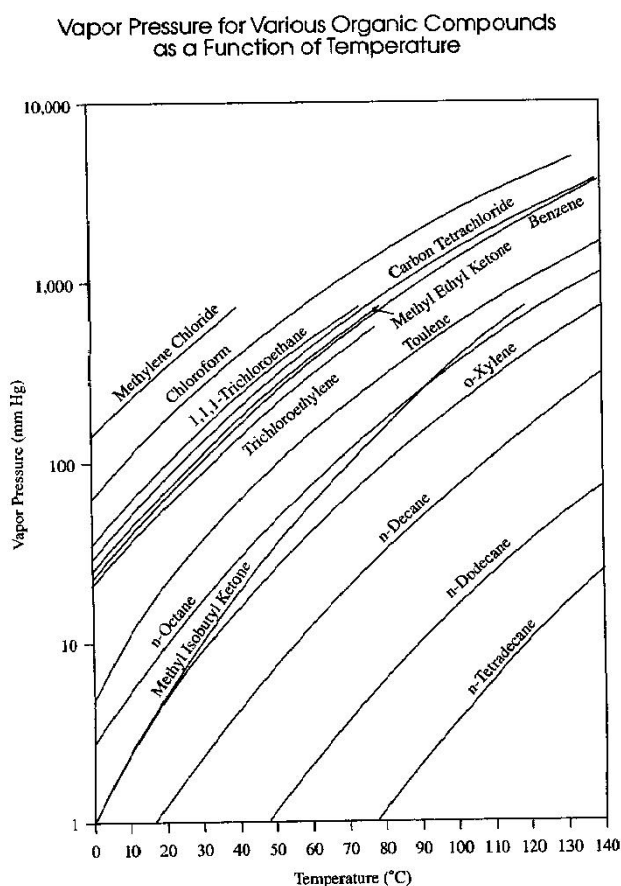
Daarentegen, gezien dit proces de installatie van een groot aantal verwarmingselementen en onttrekkingsputten (als niet gekoppeld aan een verwarmingselement) vereist, kan het niet toegepast worden in zones waar infrastructuur in de weg staat of waar zich funderingen of warmtegevoelige ondergrondse infrastructuur bevinden.

6.3. EIGENSCHAPPEN VAN DE VERONTREINIGING

De in situ behandelingstechniek door thermische desorptie kan toegepast worden voor de behandeling van een bodemverontreiniging of een drijflaag wanneer de te behandelen verontreiniging vluchtig of semi-vluchtig is. De techniek is niet geschikt voor de behandeling van corrosieve verontreiniging, minerale verontreiniging (met uitzondering van kwik), oxidantia en reductantia. De techniek wordt dikwijls toegepast op petroleumverontreinigingen.

Een vluchtige organische component wordt gedefinieerd door de Europese richtlijn n° 1999/13/CE als « een component die een dampdruk heeft van 0,01 kPa of meer bij een temperatuur van 293,15 K (of 20°C) of een overeenkomende vluchtigheid in de specifieke gebruiksomstandigheden. In de zin van de richtlijn, wordt de fractie aan creosoot die deze dampdruk overschrijdt bij een temperatuur van 293,15 K beschouwd als een vluchtige component ».

Gezien de verzadigingsdampdruk (of dampspanning) van organische componenten drastisch verhoogt met de temperatuur, verhoogt de graad van vervluchtiging. Dit wordt grafisch weergegeven in figuur 8 (Uit Vacuum Vapor Extraction, Springer, 1994).



Figuur 8 : Relatie tussen de dampdruk en de temperatuur voor verschillende organische componenten

Een benaderende berekening van de verzadigde dampdruk kan gemaakt worden met behulp van een formule afgeleid van de Clapeyron formule met als hypothesen – naast andere - dat de damp zich gedraagt als een perfect gas en dat de enthalpie van de vervluchtiging niet varieert met de temperatuur in de beschouwde tijdsduur.

$$\ln \frac{p_{\text{sat}}}{p_0} = \frac{M \cdot L_v}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)$$

waarbij :

- T_0 : kooktemperatuur van de substantie bij een gegeven druk p_0 , in K,
- p_{sat} : verzadigde dampdruk, in dezelfde eenheid als p_0 ,
- M : moleculaire massa van de substantie, in kg/mol,
- L_v : latente verdampingswarmte van de substantie, in J/kg,
- R : algemene gasconstante, gelijk aan 8,31447 J/K/mol,
- T : damptemperatuur, in K.

Voor water, bijvoorbeeld :

- $M = 0,018$ kg/mol,
- $L_v = 2,26 \times 10^6$ J/kg,
- $p_0 = 1013$ mbar,
- $T_0 = 373$ K.

Een ander voordeel dat veroorzaakt wordt door de verhoging van de temperatuur is de verhoging van de diffusiesnelheid van de verontreiniging in zones met een beperkte doorlaatbaarheid.

In het algemeen wordt verondersteld dat voor een temperatuursverandering van T_1 naar T_2 (absolute temperatuur) de diffusiecoëfficiënten van de componenten in de gasfase veranderen met een factor $(T_2/T_1)^{3/2}$.

Een andere manier om vluchtige componenten te definiëren is die volgens het Franse decreet n° 2006-623 van 29 mei 2006 die gebaseerd is op de kooktemperatuur. Volgens dit decreet, wordt onder vluchtige verontreiniging verstaan alle organische componenten waarvan het kookpunt, gemeten bij een standaard druk van 101,3 kPa, lager of gelijk is aan 250°C. Op dezelfde manier definieert de norm NF ISO 16000-6 vluchtige componenten volgens hun kooktemperatuur en onderscheidt, volgens de classificatie door het OMS in 1989, zeer vluchtige, vluchtige en semi-vluchtige componenten (OQAI, 2001). Tabel 2 stelt deze classificatie voor.

Tabel 2 : Classificatie van componenten in functie van het kookpunt

Vluchtigheid	Kooktemperatuur
Zeer vluchtig	<[50 – 100°C]
Vluchtig	[50 - 100 °C] à [240 - 260°C]
Semi-vluchtig	[240 - 260 °C] à [380 - 400°C]

Bron OQAI, 2001

De standaard kooktemperatuur van een stof, dikwijls ook kookpunt genoemd, is de temperatuur waarbij de verzadigingsdampdruk gelijk is aan 1 atm (101,325 kPa).

Wanneer de temperatuur van de vloeistof hoger wordt dan deze waarde, dan wordt de vorming van bubbels in deze stof waargenomen : dit is het fenomeen van koken.

De dampdruk is de druk waaronder een stof bij een constante temperatuur in evenwicht is met zijn dampfase. Anders gezegd, het is de druk waaronder de vloeistof kookt (of nog de vaste stof sublimeert), bij de beschouwde temperatuur.

In het geval van een bodembehandeling, dienen dikwijls verschillende chemische componenten in een complexe bodemmatrix aangepakt te worden. Dit is dus anders dan een zuivere vloeistof die dient verdampt te worden. De energie die moet toegediend worden hangt dus ook af van de omgevingsfactoren:

- De adsorptiecapaciteit van de moleculen aan de bodem ;
- De onderdruk toegepast ter hoogte van de onttrekkingsputten. Door het aanbrengen van een onderdruk, neemt de vervluchtiging toe wanneer de andere factoren constant blijven ;
- De relatieve concentratie van de verontreiniging in het mengsel. In functie van het type benzine of diesel, kan het kookpunt en de dampdruk verschillen. Voor een brandstof is er eerder een interval van kooktemperaturen of dampdrukken zoals weergegeven in tabel 3.

Tabel 3 : Range van kooktemperaturen of van dampdrukken voor brandstoffen

brandstof	Kooktemperatuur	Dampdruk
benzine	30 - 190 °C	45 - 90 kPa à 37,8 °C
diesel	180 - 360 °C	<10 kPa à 100°C < 1 kPa à 40°C

(bron : <http://autocarbur.free.fr>)

Exhibit II-9 Petroleum Product Boiling Point Ranges	
Product	Boiling Point Range (°C)
Gasoline	40 to 225
Kerosene	180 to 300
Diesel fuel	200 to 338
Heating oil	>275
Lubricating oils	Nonvolatile

(Bron : Soil Vapor Extraction, EPA 1994)

In het algemeen verhoogt de kooktemperatuur met het aantal koolstofatomen en dus met de moleculaire massa van de pollutant. Verder staat de kooktemperatuur van een vloeistof in relatie tot de "graad" van associatie van de moleculen onderling in de vloeistof.

In een bodem, zullen de moleculen eveneens verbindingen aangaan met de organische materie of de bodemmatrix. Bijgevolg, hoe meer de moleculen met elkaar of met de bodem verbonden zijn, hoe meer energie er nodig is om ze te scheiden en te vervluchtigen.

Tabel 4 hieronder stelt de kooktemperaturen voor van het grootste deel van de verontreinigingen waarvoor *in situ* thermische desorptie kan gebruikt worden.

In praktijk is het weinig realistisch om klassieke thermische desorptie (200-270°C) uit te voeren voor componenten met een zware moleculaire massa zoals PAK's met meer dan 3 ringen of minerale olie met meer dan 25-30 koolstofketens. Voor dit type van « zware » componenten, moet de temperatuur op het koudste punt (punt in het midden tussen 3 verwarmingselementen) 400°C of hoger bedragen. Voor dit type behandeling bij hoge temperatuur, wordt de behandeling eerder *on site* of *ex situ* uitgevoerd.

Tabel 4 : kooktemperatuur bij een atmosferedruk van de voornaamste pollutanten (bron : Thermopile, livret 1. Dossier technique V07-augustus 2007)

Température d'ébullition de certains contaminants	
HAP	
Naphtalene	218 °C
Acenaphtylene	280 °C
Acenaphtalene	279 °C
Fluorene	295 °C
Phenantrene	340 °C
Antracene	342 °C
Fluoranthene	375 °C
Pyrene	393 °C
Benzo(a)Fluranthene	482 °C
Chryseen	488 °C
Benzo(b)Fluoranthene	480 °C
Benzo(k)Fluoranthene	480 °C
Benzo(a)pyrene	371 °C
Benzo(ghi) perylene	550 °C
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	530 °C
Hydrocarbures	
Essence	221 °C
Diesel	343 °C
Fioul lourd	443 °C
Autres	
PCB	<350 °C
Phenols	310 °C
TNT	300 °C
Cyanide	430 °C
Mercure	320 °C
Sulphure	414 °C
Solvants chlorés	60 °C

7. UITGEBREID ONDERZOEK NAAR DE HAALBAARHEID

7.1. ONDERZOEK VAN DE ZONE, DE BEPERKINGEN, DE AANDACHTSPUNTEN

Gezien de techniek verschillende beperkingen heeft, moet de zone grondig geanalyseerd worden en volgende aspecten moeten in het bijzonder geëvalueerd worden:

- Te analyseren in het kader van de verhoging van de bodemtemperatuur :
 - - o De aanwezigheid van ondergrondse infrastructuur die kan beschadigd worden (kabels, riolering, drinkwaterleiding, energie (gas, mazout, benzine...) ;
 - o bodemtype. Gezien thermische reiniging gemakkelijk uit te voeren is in alle bodemtypes, is het aan te raden om de toepasbaarheid te evalueren in geval van aanwezigheid van kleiige of venige bodem die kunnen krimpen als gevolg van dehydratatie. Bijgevolg kunnen verzakkingen plaatsvinden en bovengrondse of ondergrondse installaties beschadigd worden. Het natuurlijk aanwezig organisch stofgehalte begint te degraderen vanaf 300°C.
- Te verifiëren in het kader van de plaatsing van verschillende verwarmingselementen of onttrekkingsputten :
 - - o De aanwezigheid van ondergrondse infrastructuur die kan beschadigd worden (kabels, riolering, drinkwaterleiding, energieleidingen) ;
 - o Is de infrastructuur te verwijderen of niet: bevindt de verontreiniging zich bovenop deze infrastructuur? ;
 - o De aanwezigheid van funderingen die de plaatsing van boringen verhindert ;
 - o De toegankelijkheid van de zone en de topografie van de bodem zullen geanalyseerd worden met betrekking tot de toe te passen boortechnieken (toegankelijkheid, plaats, hoogte plafond) ;
 - o De grondwaterstand en, als een behandeling van de drijfslaag wordt beoogd, de doorlatendheidsparameters van het grondwater en de maximale grondwaterverlaging (als gevolg van de verdamping van water) ;
- Energiebronnen (mazout, gas of elektriciteit) :
 - - o gezien de techniek veel energie verbruikt, is het wenselijk om een directe aansluiting te hebben (gas) of om plaats te voorzien op de site (vlakke en toegankelijke zone) om mazout- of gastanks te plaatsen ;
 - o Aanwezigheid van water en elektriciteit in de nabijheid ;
- installatie voor verwarming en gasreiniging, naargelang de noodzaak :
 - - o deze installaties hebben plaats nodig, een vlak oppervlak, een toegang en een beveiliging ;
 - o De ontplofbaarheid van de te behandelen lucht moet geverifieerd worden ;
- Lozing van gas :
 - o de warme gassen moeten uitgestoten worden naar de atmosfeer in een afgeschermd zone ;

- 0 In geval van behandeling in een besloten omgeving, een gebouw of een parking, moeten de gassen afgeleid worden naar buiten en moet er dus een uitlaatpijp gebruikt of aangelegd worden ;
- Bezetting van de zone :
 -
 - 0 De zone moet volledig vrijgemaakt worden voor de behandeling ;
 - 0 De zone zal niet beschikbaar zijn tijdens de duurtijd van de behandeling.

Gezien de verschillende beperkingen en aandachtspunten, is het aangewezen aan de bodemverontreinigingsdeskundige om de haalbaarheid te analyseren met een aannemer gespecialiseerd in behandeling door *in situ* thermische desorptie tijdens het opstellen van een saneringsvoorstel of een risicobeheersvoorstel, of voor de aanvang van de werken indien het een behandeling betreft die geen voorstel vereist.

7.2. ONDERZOEK VAN DE GROND EN VERONTREINIGING

Wanneer de eerste analyse van de haalbaarheid uitgevoerd werd, voornamelijk op basis van de vluchtigheid van de pollutant (hoofdstuk 5) en de beperkingen van de site (hoofdstuk 6.1), zal de deskundige deze analyse o.a. uitbreiden met volgende gegevens:

- de ruimtelijke omvang van de verontreiniging. De grenzen van de te behandelen laag dienen voldoende gedetailleerd gekend te zijn om zo juist mogelijk de verwarmingselementen en onttrekkingsputten te plaatsen ;
- De aard en de totale vuilvracht aan verontreiniging. De te bereiken temperatuur en de duurtijd van de behandeling hangen af van deze parameters ;
- De aanwezigheid van puur product in de bodem;
- Bodemeigenschappen :
 - 0 homogene of niet homogene lagen. Granulometrische analyses laten toe dat de aannemer zijn installatie beter kan dimensioneren (verdeling en aantal verwarmingselementen en onttrekkingsputten) ;
 - 0 Watergehaltes. Hoe hoger het watergehalte, hoe meer bijkomende energie moet toegediend worden om het water te verdampen ;
 - 0 Aanwezigheid van grondwater. Ingeval van opwarming van bodemlagen dicht bij het grondwater, zal een grondwaterverlaging optreden als gevolg van verdamping. De impact van deze verlaging moet geëvalueerd worden ;
- Karakteristieken van de verontreiniging :
 - 0 kookpunt, dampdruk om de haalbaarheid van de techniek te bepalen ;
 - 0 Zelfontbrandingstemperatuur of de minimale temperatuur waarbij de component spontaan ontvlamt ;
 - 0 Explosielimieten : de onderste limiet is de minimale concentratie van een component waarbij het mengsel lucht-component explosief is. De bovenste limiet is de minimale waarde waarvoor het mengsel lucht-component onvoldoende zuurstof bevat om verbranding toe te laten ;
- Aan- of afwezigheid van gechloreerde of andere componenten waarvan het verbrandingsproduct niet enkel CO₂ en H₂O is. De noodzaak voor een secundaire zuivering voor het onttrokken gas is afhankelijk van de verwachte concentraties ;
- De aanwezigheid van andere componenten dan (semi)-vluchtige componenten, minerale olie en PAK's die als gevolg heeft dat het systeem waarbij de leidingen voor opwarming en onttrekking van gas gecombineerd worden niet kan toegepast worden. Losgekoppelde systemen worden aangeraden voor behandeling van bijvoorbeeld organische chloorverbindingen, kwik, ... ;

- Aanwezigheid van humus. Humus kan pyrolyseproducten vormen (alkanen, fenolen, PAK's...) tussen 400 en 500°C.

Gezien het een opkomende techniek is, hangt de dimensionering nog sterk af van empirische gegevens. Daarom wordt aangeraden om samen te werken met een aannemer voor de dimensionering van de installatie.

7.3.LABTESTEN

Om zo goed mogelijk in te schatten of de verontreiniging thermisch kan gesaneerd worden, kunnen voorafgaande testen uitgevoerd worden, bijvoorbeeld in lab. Het doel van deze test is om de mate van vervluchtiging/desorptie van de verontreiniging in functie van de temperatuur te onderzoeken. Zoals vermeld, is de mate van vervluchtiging afhankelijk van het kookpunt van de verontreiniging of het mengsel van verontreinigingen en de bodemeigenschappen. Voor de « exotische » componenten of mengsels waarvan er geen thermodynamische gegevens beschikbaar zijn, kan een test nuttig zijn. Gezien de hoge kost voor het uitvoeren van een piloottest op het terrein, wordt een labotest aangeraden.

De deskundige dient te oordelen over het nut om vooraf een test uit te voeren op basis van ervaring en karakteristieken van de verontreiniging.

Volgens het bestek voor de uitvoering van reinigingstesten uitgegeven door de ADAME (2011), kan een test uitgevoerd worden door bodemstalen (10 g) in pyrexrecipiënten (40 ml) te brengen, vervolgens te wegen en in een oven of warmhoudkast te steken. Rekening houdend met de dikwijls beperkte hoeveelheden aan grond die gebruikt worden, is het dikwijls nuttig om een granulometrische scheiding uit te voeren voor in het geval dat in de bodem een grove fractie aanwezig is. De stalen worden dus blootgesteld aan een vaste temperatuur en een vaste duurtijd (bijvoorbeeld 5, 10 en 15 minuten). De recipiënten worden vervolgens opnieuw gewogen om het verlies aan massa van het staal als gevolg van de behandeling te evalueren.

e stalen worden vervolgens geanalyseerd om de concentratie aan verontreiniging te kennen. Gezien de beperkte hoeveelheden die meestal gebruikt worden voor testen, moeten verschillende testen uitgevoerd te worden om de variaties als gevolg van staalname te compenseren. (NB. Het is aan te raden om vooraf de minimale nodige hoeveelheid voor de analyse na te gaan om voldoende grond te hebben voor de test).

De mate van desorptie wordt als volgt uitgedrukt:

$$\text{Desorptiegraad (\%)} = \frac{\text{Initiële pollutantconcentratie} - \text{Finale pollutantconcentratie}}{\text{Initiële pollutantconcentratie}} \times 100$$

Als onder geen enkele testconditie met verschillende temperatuur en verblijftijd verontreiniging kan onttrokken worden zodat de doelstellingen gehaald worden, dient deze techniek niet verder in overweging genomen te worden.

7.4.PILOOTTEST

In het kader van thermische desorptie wordt dikwijls aan de aannemer gevraagd om resultaten te garanderen. In dat geval is een piloottest niet nodig omdat de aannemer zich zal baseren op zijn ervaring. Daarom is een piloottest niet nodig voor klassieke verontreinigingen met mazout of benzine.

Daarentegen, voor « exotische » componenten of gemengde componenten waarvan er geen thermodynamische gegevens beschikbaar zijn, kan een piloottest nuttig zijn. Gezien de hoge kost voor het uitvoeren van een piloottest in het veld, wordt een voorafgaande labtest aanbevolen.

De deskundige zal beoordelen of het nuttig is om op voorhand of bij opstart van de behandeling een piloottest uit te voeren op basis van ervaring en de karakteristieken van de verontreiniging.

Als de deskundige oordeelt dat een piloottest nuttig is, moet er ook rekening mee gehouden worden dat het momenteel moeilijk, zelfs onmogelijk is om de evolutie van de verontreinigingsconcentraties in de bodem op te volgen. Bijgevolg moet de behandeling uitgevoerd worden tot het einde (bereiken van maximale concentratie, dikwijls 250°C en afkoeling) voordat het resultaat kan beoordeeld worden.

Na de « piloottest », wordt de behandeling als beëindigd beschouwd als de doelstellingen werden bereikt, maar als ze niet bereikt werden moet de beslisboom gebruikt worden (hoofdstuk 12).

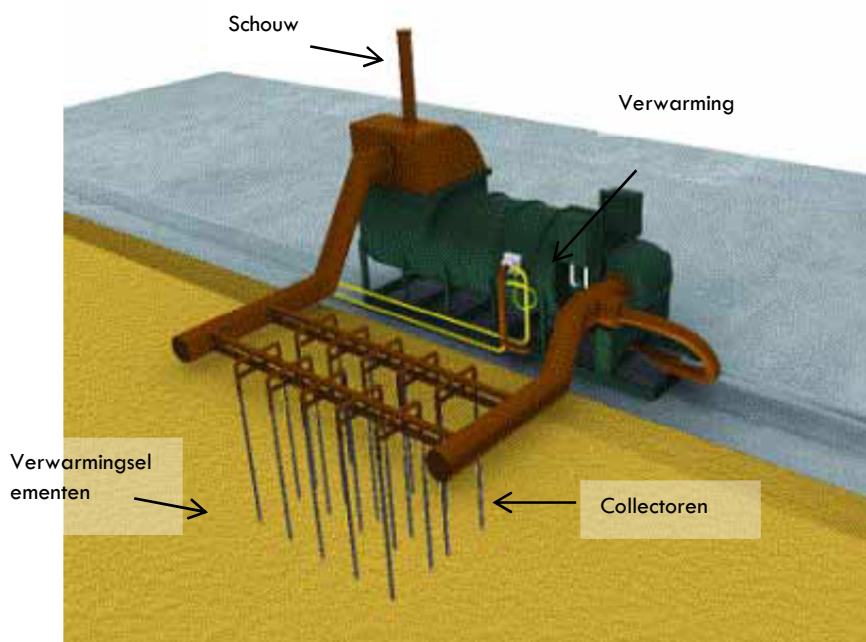
Rekening houdend met deze beperkingen, zal de uitvoering van een piloot nuttig kunnen zijn onder onderstaande gevallen:

- Niet uitvoerbaar voor kleine sites ;
- Mogelijk voor grote verontreinigingen waar de thermische behandeling achtereenvolgens per zone wordt uitgevoerd. In dit geval zal de behandeling van de eerste zone als piloottest dienen.

8. BESCHRIJVING VAN EEN TYPE-INSTALLATIE

Een voorbeeldinstallatie van een thermische in situ behandeling bij gemiddelde temperatuur omvat :

- verwarmingselementen in de verontreiniging (meestal verticaal, soms horizontaal)
 - onttrekkingsputten (meestal verticaal, soms horizontaal) in het midden van de verontreinigingsvlek. De putten zijn voorzien van een filter gefilterd over het hele verontreinigd interval. De afstanden tussen de verwarmingselementen en de onttrekkingsputten worden zo berekend dat de gassen over de hele vlek worden onttrokken ;
 - een onttrekkingsinstallatie voor gassen: vacuümpomp, ventilatoren, ... verbonden met één of meerdere onttrekkingsputten. Om de geluidshinder te verminderen, kunnen de pompunits in geïsoleerde ruimte geplaatst worden (omkastingen, containers,...) ;
 - isolatiemateriaal aan het bodemoppervlak: ingeval van risico op een te groot warmteverlies ;
 - een meetsysteem voor het meten van de bodemtemperatuur op verschillende dieptes: een thermokoppel geplaatst op de meest koude punten, in het midden van 3 naast elkaar liggende warmte-elementen ;
 - Een installatie voor de productie van warme gassen. Deze unit bestaat ofwel uit een centrale verwarming (figuur 5), ofwel uit individuele branders die direct op de verwarmingselementen geplaatst worden (figuur 6) ;
 - Collectorleidingen voor de gassen en circulatieleidingen voor warme lucht. Manometers worden zowel voorzien ter hoogte van de onttrekkingspompen, de putten en op verschillende plaatsen van de installatie om zo de onderdruk na te gaan.
- Afhankelijk van de onttrekkings- en zuiveringsinstallatie voor gassen, worden ook één of meerdere explosiemeters voorzien ;
- Een zuiveringsinstallatie voor de opgepompte gassen, mogelijk ook een secundaire zuivering ;
 - Een opvolgingssysteem met hierin staalnamepunten voor gassen ter hoogte van de verschillende putten of verschillende pompen alsook ter hoogte van de zuiveringsinstallatie om zo de gereinigde gassen te kunnen bemonsteren voordat ze in de atmosfeer geloosd worden. De installatie wordt ook voorzien van een regelsysteem, een alarm en een automatische noodstop in geval van pannes of slecht functioneren.



Figuur 9 : in situ Thermopile systeem (Deep-Green).

9. BESCHRIJVING VAN HET TE INSTALLEREN SYSTEEM

De minimum aan te leveren gegevens van het systeem dat zal geïnstalleerd worden in het kader van het risicobeheer of de sanering worden weergegeven in **TABEL 5**. Deze gegevens dienen in een synthesesetabel onder de vorm van **TABEL 5** aangeleverd te worden. Indien nodig wordt ook een figuur toegevoegd ter verduidelijking.

TABEL 5 : AAN TE LEVEREN GEGEVENS OVER HET BEHANDELINGSSYSTEEM

Deel van systeem	Onderdeel	Gegevens	Opmerkingen
Bronnen	Vervuilende infrastructuur	Aanwezigheid van ondergrondse tanks, leidingen waarvoor voorafgaande leging-reiniging-ontgassing en verwijdering nodig is	
		Verwijdering van gevaarlijk afval	
Te behandelen zone	Dimensies	Breedte, lengte, diepte en dikte van de propere en vervuilde bodemlagen	Op basis van bodem-onderzoeken. Voeg figuren toe in bijlage 9 van het SV of RBV
	Verontreiniging	Aard van de verontreiniging. Aanwezigheid van puur product	
	Andere verontreinigingen	Aanwezigheid van andere componenten dan deze die gesaneerd moeten worden	Bijvoorbeeld: een weesverontreiniging of concentraties waarvoor geen behandeling nodig is
	Eigenschappen	Bodem-eigenschappen (puin, zand, leem, klei...)	Een granulometrische analyse wordt aanbevolen Aandacht dient besteed te worden aan de grotere fracties die niet in dit type analyse in rekening worden gebracht en die de behandeling kunnen beïnvloeden
	Grondwater	Wordt een grondwaterverlaging voorzien? Onttrekkingssysteem en behandeling van water en puur product Controle influent/effluent van de installatie	Zie ook de betreffende codes van goede praktijk.
Tijdsduur	Tijd	Geschatte tijd : - Voor de voorbereidende werken	

		- Voor de thermische behandeling	
Omgeving	Gebouwen	Aanwezigheid van gebouwen in de nabijheid die aandacht vereisen.	
	Ondergrondse infrastructuur	Vermelden van de ondergrondse infrastructuur gekend ten tijde van de studies	
Installatie	Verwarmingselementen/onttrekkingsputten	Voorziene/geschatte tussenafstand en diepte	
	Energie	Aan- of afwezigheid van energie op de site (gas of mazout)	
Eindcontrole	Strategie	Definiëren van het aantal te nemen stalen	Rekening houden met het fenomeen van verharding van de bodem

10. BEPERKEN VAN DE INVLOED VAN DE BEHANDELING OP DE OMGEVING: GEUR, GELUID, STOF,...

10.1 HINDER VOOR DE LUCHTKWALITEIT

Per definitie richt een behandeling gebaseerd op de onttrekking van bodemlucht zich op verontreinigingen met componenten die kunnen vervluchtigd worden. De lucht die in direct contact staat met de pomp- en aanzuiginstallatie en de zuivering van gasen kan vervuild worden door de gasen die ontsnappen aan het systeem (delen niet op onderdruk). Om het risico op verspreiding van schadelijke gasen of geuren naar gevoelige receptoren op de site en in de onmiddellijke omgeving, moet de lek Dichtheid van het systeem goed bewaakt worden. Gezien bij het proces van thermische reiniging, zoals uitgewerkt in deze code, de gasen worden gereinigd in de verbrandingskamer, is het risico op geur of lozing van verontreiniging naar de atmosfeer verwaarloosbaar. In geval van herhaaldelijke klachten van omwonenden over de aanwezigheid van geur als gevolg van de behandeling, dan zal een meetcampagne van de lucht uitgevoerd worden.

De lozingen van gasen van het zuiveringssysteem voor onttrokken gasen moeten periodiek opgevolgd worden.

De uitstoot van stof wordt niet verwacht als gevolg van het uitvoeren van een bodemluchtonttrekking.

10.2 BRAND- EN EXPLOSIERISICO'S

Het pompen van warme bodemgasen met hierin vluchtige componenten kan een explosierisico met zich meebrengen in het onttrekkingssysteem. Explosiemeters moeten dus voorzien worden op verschillende plaatsen in het systeem: ter hoogte van de collectorleidingen voor onttrokken gasen voor de pompen, ter hoogte van de zuiveringsinstallatie... Deze explosiemeters moeten verbonden worden met een alarmsysteem, automatische opening voor aanzuigen van omgevingslucht en, indien nodig, een automatische stop in geval van overschrijden van 10% LEL (Lower Explosive Limit).

De onttrekking van gasen in de onverzadigde zone van de bodem moet continue uitgevoerd worden. Explosierisico's in potentiële zones voor ophoping van brandbare gasen in de bodem: holtes, kelders... mogen niet onderschat worden.

Een evaluatie van de t° in 'benauwd' gebied dient te worden uitgevoerd.

10.3 GELUIDSHINDER

Geluidshinder voor mensen die in de buurt van de werf wonen kan voorkomen als gevolg van de werking van de pompen en de verwarmingsinstallatie.

Maatregelen om deze hinder te vermijden moeten genomen worden :

- Installeren van het systeem op een redelijke afstand van woonzones ;
- Onderhoud van de installatie ;
- Luide toestellen in goed geïsoleerde omkastingen en containers plaatsen ;



10.4 RISICO'S VOOR NABURIGE GRONDWATERWINNINGEN

Grondwaterwinningen die gebruikt worden voor de verdeling van drinkwater moeten beschouwd worden als prioritaire receptoren. Grondwaterwinningen voor privédoeleinden moeten ook in rekening gebracht worden als deze bedreigd worden.

Als met de behandeling de onttrekking van een vrije fase wordt beoogt, dan bestaat het risico dat de winningen verontreinigd worden als gevolg van een onvoldoende behandeling van het grondwater ter hoogte van de kern van de verontreiniging en het creëren van een pluim die migreert in de richting van de onttrekkingen.

De kwaliteit van het grondwater stroomafwaarts van de te saneren zone moet dus gecontroleerd worden.

10.5 RISICO'S VOOR VEILIGHEID EN GEZONDHEID VAN DE WERKERS

In het kader van thermische behandelingen, zijn de grootste risico's verbonden aan de veiligheid en gezondheid van de werkers.

De installatie- en uitvoeringswerken van een opwarming van de bodem vragen speciale aandacht voor veiligheid van gezondheid van de werkers.

Bovenop de voorschriften voor veiligheid en netheid, vastgelegd in de gelijkvormigheidsverklaring van het project, worden de volgende aandachtspunten aangehaald :

- De aanwezigheid van ondergrondse infrastructuur. Voor opstart van de werf, dient de aannemer alle ondergrondse kabels en leidingen te inventariseren. Indien nodig, dienen manueel proefsleuven gemaakt te worden ter controle.
- Afbakening van de zone om vallen te vermijden als gevolg van de aanwezigheid van leidingen en branders ;

10.6 CONFORMITEIT MET BESTAANDE WETGEVING

In verband met de luchtkwaliteit worden de emissienormen voor gassen naar de atmosfeer weergegeven in de [code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'](#) .

In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest zijn geen normen beschikbaar voor het evalueren van de luchtkwaliteit in de buitenlucht (immissie) die kunnen dienen om het aandeel afkomstig van een behandelingssysteem met onttrekking van bodemgas te kunnen inschatten. In een eerste benadering worden de gemeten waarden aan vluchtige pollutanten vergeleken met de [waarden die beschikbaar zijn op het S-RISK platform © \(Substance data sheets, <https://s-risk/be/documents>\)](#) . In geval van overschrijding van deze waarden, moet de lekdichtheid van het systeem gecontroleerd worden. In de zones die beïnvloed worden door een verhoogde achtergrondconcentratie in de buitenlucht (nabijheid drukke verkeersader, industriezones, ...) is een controle van de lekdichtheid nodig als de luchtconcentraties in de nabijheid van de installatie verhoogd zijn ten opzichte van de omgevingsconcentraties gemeten over een periode van 24u.

Op het gebied van geur zijn er geen wettelijke normen van kracht in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Een controle van de lekdichtheid van de installatie is nodig in geval van herhaaldelijke klachten van omwonenden.

Op het vlak van geluidshinder, is het aanvaardbaar geluidsniveau dat gegenereerd wordt door zuiveringssystemen voor de onttrekking van grondwater vastgelegd in de Ordonnantie van 17.07.1997 en het uitvoeringsbesluit van 24.11.2002 over de bestrijding van geluid en trillingen door geklasseerde installaties. In zones met een verhoogd omgevingsgeluid (drukke verkeersaders, industriezones,...), is het voldoende om de impact van de installatie te vergelijken met het lokale geluidsniveau.

Daarnaast dienen de milieuvergunning en de richtlijnen opgenomen in de gelijkvormigheidsverklaring van het saneringsvoorstel, het risicobeheersvoorstel, de infofiches en de codes van goede praktijk nageleefd te worden.

11 OPVOLGING VAN DE BEHANDELING

11.1 OPVOLGING TIJDENS DE BEHANDELING

Tijdens de behandeling, worden volgende parameters sowieso opgevolgd door de aannemer :

- Bodemtemperatuur met behulp van thermokoppels geplaatst op verschillende dieptes ;
- Debiet en temperatuur van geïnjecteerde lucht ;
- Verhouding lucht / brandstof van de verwarmingsunit ;
- Meting van CxHy aan de uitgang van de onttrekkingsputten voor behandeling. De frequentie is in het algemeen wekelijks, maar deze meting geeft weinig bruikbare resultaten ;
- Meting van CO, CO₂, O₂, SO₂, NO_x en CxHy in de uitlaatgassen naar de atmosfeer. De frequentie is normaal wekelijks ;
- Mate van onderdruk ter hoogte van de collectoren ;
- Ontploffbaarheid van de te behandelen lucht ;
- Stand van het grondwater ingeval van de aanpak van een drijfslag
- Stand van het grondwater ingeval van een grondwaterstandsverlaging voor behandeling van de bodem.

Ingeval van behandeling in gebouwen, is speciale aandacht vereist voor de concentratie aan gassen in de omgevingslucht (CO, CO₂, O₂, NO_x en CxHy) bovenop de metingen van in- en effluent.

Wanneer dit type behandeling wordt uitgevoerd, wordt aan de aannemer gevraagd om de rendementen en het bereiken van vaste doelstellingen te garanderen. De opvolging van het studie bureau is bijgevolg beperkt tot een controletaak.

De deskundige voert enkele controlebezoeken uit op bepaalde sleutelmomenten tijdens de behandeling, zoals :

- Tijdens de installatie van verwarmingselementen en onttrekkingsputten ;
- Bij opstart van de bodemverwarming. Lozingsmetingen worden uitgevoerd om het effluent te controleren en indien nodig het zuiveringssysteem aan te passen;
- Tijdens de behandelingsfase. Gedurende de behandeling, zal de aannemer de verzamelde gegevens aan de deskundige communiceren als hij deze niet zelf verzameld heeft. Gegevens worden geanalyseerd om de installatie aan te passen waar nodig ;
- Op vraag van de aannemer ;
- Wanneer de deskundige dit nodig acht.

Ingeval van de behandeling van een drijfslag of van de bodem in de verzadigde zone, worden de peilmetingen opgemeten om de grondwaterverlaging op te volgen.

Als een specifieke of secundaire behandeling moet uitgevoerd worden op de onttrokken gassen, moeten specifieke opvolgingsmetingen uitgevoerd worden in functie van de te behandelen verontreiniging (zie code van goed praktijk n°2).

Tabel 6 : Op te volgen parameters en meetfrequenties

Monitoringsparameter	materiaal	Minimum frequentie	Opmerkingen
Bodemtemperatuur	thermokoppel	wekelijks	
Debiet en temperatuur van warme lucht	Debietmeter en thermometer	wekelijks	
Uitstoot van CO, CO ₂ , O ₂ , SO ₂ , NO _x en C _x H _y	Draagbaar gasmeettoestel	wekelijks	Verbrandingsgas geloosd in de atmosfeer
Gehaltes in de lucht van CO, CO ₂ , O ₂ , SO ₂ , NO _x en C _x H _y	Draagbaar gasmeettoestel	2 x per week	Ingeval van behandeling van een verontreiniging in een gebouw
Onderdruk van het systeem	manometer	wekelijks	
Dikte van LNAPL	Tweefasesonde of drijfllaagmeter	2 wekelijks	Drijfllaag
Grondwaterstand	Peillint	wekelijks	Ingeval van grondwaterstands-verlaging

11.2 METING VAN LOZINGEN NAAR DE ATMOSFEER

De te meten parameters in de uitlaatgassen zijn de volgende : CO, CO₂, O₂, SO₂, NO_x en C_xH_y. De metingen worden uitgevoerd door een gasmeettoestel (voorbeeld in figuur 10) die over een kalibratiecertificaat beschikt, uitgegeven door een controleorganisme. Het kalibratiebewijs moet op het apparaat geplakt worden zodat de geldigheidsdatum van de kalibratie kan gecontroleerd worden. Het gasmeettoestel wordt in het uitlaatcircuit gebracht via een leiding die hiervoor voorzien is (figuur 11) of direct aan de schouw. Staalname aan de schouw wordt afgeraden :

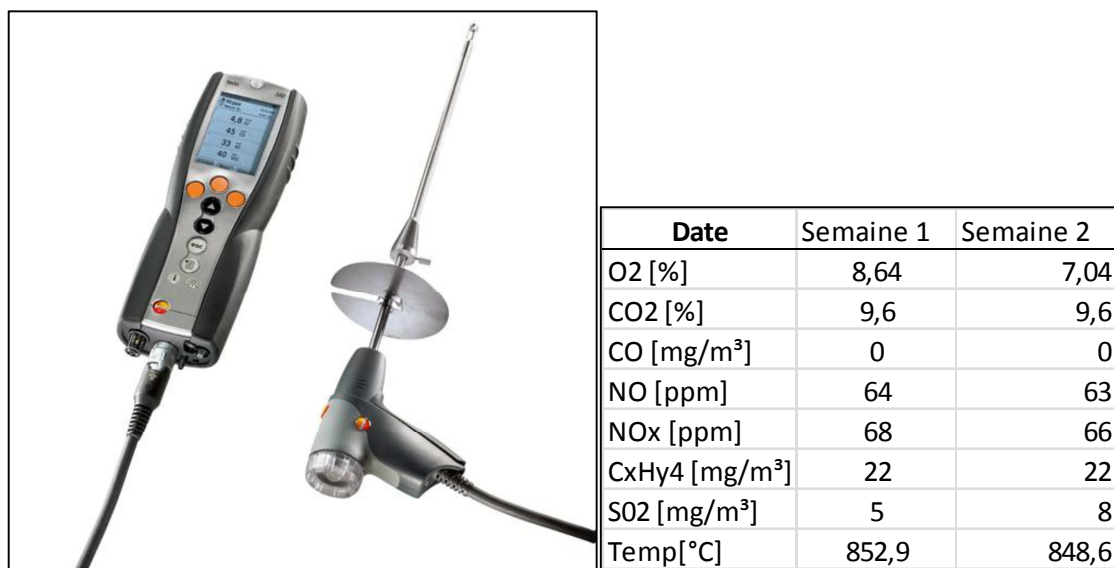
- Gezien de hoge temperatuur van het gas en het risico op verbranding ;
- Gezien, in het algemeen, de onbereikbaarheid (in de hoogte) (figuur 11).

Als een specifieke of secundaire zuivering van het onttrokken gas nodig is, kunnen specifieke opvolgingsmetingen uitgevoerd worden in functie van de te behandelen verontreiniging (zie code van goede praktijk n°2).

De emissienormen voor uitlaatgassen naar de atmosfeer worden gegeven in [de code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'](#) .

Het is nuttig om te specificeren dat de norm voor CO₂ (9100 mg/Nm³) niet realistisch is voor elke behandeling waarbij een verbranding nodig is. Alleen met een enorme overvloed aan lucht, en dus ook een nutteloze verspilling van energie, kan dit gehalte van 0,5% of 9100 mg/Nm³ gehaald worden. Een juiste afregeling van een verwarmingsinstallatie met mazout wordt bereikt met een CO₂ gehalte van minimaal 12 % à 14 %. Voor een verwarmingsinstallatie met gas is dit 8 à 10 %. Dit kan afgeleid worden uit de karakteristieken van de brandstof en de stoichiometrische verbrandingsvergelijkingen. Het is aan te raden om deze gehalten aan CO₂ te respecteren omdat deze CO₂-gehalten in de uitlaatgassen

opgelegd worden door Leefmilieu Brussel in de gids op de periodieke controle van verwarmingsinstallaties.



Figuur 10 voorbeeld van een gasmeettoestel (bron : Testo) en verzamelde gegevens. Lozingsnormen naar de atmosfeer – geval van thermisch oxidatie.



Meting in de lozingsleiding



Figuur 11 : afbeelding van staalnamepunten voor uitstootgassen naar de atmosfeer (foto SITEREM, 2014).

Om te kunnen vergelijken met de normen opgenomen in de code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken', moeten de metingen uitgedrukt worden in mg/Nm³. De meettoestellen geven echter bepaalde resultaten in ppm. In dit geval kan de omrekening als volgt uitgevoerd worden :

Concentratie (mg/m³) = concentratie (ppm) x moleculaire massa (g/mol) / molair volume (l)

Hieronder wordt een voorbeeld uitgewerkt. Het molair volume van uitlaatgassen van een verwarming op mazout is 24,45 l. Om resultaten in Nm³ (normaal m³) uit te drukken, moet de concentratie naar een temperatuur van 0°C en atmosferische druk teruggerekend worden.

$$V \text{ (Nm}^3\text{)} = V \text{ (m}^3\text{)} \times P_{\text{abs}} \text{ (bar)} / 1,01325 \times 273 / (T \text{ (}^\circ\text{C)} + 273)$$

Meestal is het verschil in druk tussen het meetpunten en de atmosferedruk verwaarloosbaar zodat $V \text{ (Nm}^3\text{)} = V \text{ (m}^3\text{)}$.

Tenslotte, wetende dat 1% overeenkomt met 10000 ppm, is het eenvoudig om % om te zetten naar mg/m³.

Bijvoorbeeld, voor CO₂

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ (mg/m}^3\text{)} &= \text{CO}_2 \text{ (ppm)} \times 44 \text{ g/mol} / 24.45 \text{ l} \\ 1 \text{ ppm CO}_2 &= 1.8 \text{ mg/m}^3 \text{ CO}_2 \\ 1\% \text{ CO}_2 &= 18000 \text{ mg/m}^3 \end{aligned}$$

11.3 CONTROLE VAN HET BEREIKEN VAN DE DOELSTELLINGEN

11.3.1 METING TIJDENS DE BEHANDELING

- Het behalen van de gewenste t° ter hoogte van het 'koudepunt' betekent dat de totale zone voldoende werd opgewarmd ;

- Punctuele metingen van CO ter hoogte van de uitgang van de zuigende tubes : indicatie van onvolledige verbranding of een onvoldoende hoge t°

11.3.2 METING VAN CONCENTRATIES IN DE BODEM

Wanneer de aannemer veronderstelt dat de doelstellingen bereikt werden, moet de deskundige een controle uitvoeren :

- Residuele concentraties aan verontreiniging in de bodem ;
- Meting van de drijfslag (hoofdstuk 11.3.2).

Gezien de techniek gebruikt wordt voor het saneren van (semi-)vluchtige componenten, moet de staalname gebeuren onder reële terreinomstandigheden.

Bijgevolg, zal de staalname uitgevoerd worden volgens de codes van goede praktijk als de bodemtemperatuur lager is dan 20°C.

In het geval waarbij de bodemtemperatuur hoger is dan 20°C, is het aan te raden om te wachten tot de bodem afgekoeld is tot een temperatuur die geschikt is voor niet geroerde staalname (steekbus, liners...). Gezien de verzadigingsdampdruk (of dampspanning) van componenten verhoogt met de temperatuur, zal ook de mate van vervluchtiging sterk toenemen. Bijgevolg, elke staalname boven 20°C moet direct in PVC of teflon liners uitgevoerd worden of in steekbussen van roestvrij staal. De stoppen moeten onmiddellijk aangebracht worden aan de uiteinden van de buis en het afsnijden van de gewenste sectie om naar het labo te sturen.

PVC liners worden aangeraden bij het nemen van stalen bij een temperatuur lager dan 55°C gezien PVC wordt gekenmerkt door een Vicat verwekingstemperatuur tussen 65 en 85°C en een doorbuigingstemperatuur onder belasting tussen 55 en 70°C.

Voor liners in teflon, zijn de warmteweerstanden nog hoger.

De warmteweerstand van het staalname materiaal zal bijgevolg de temperatuur en het tijdstip van staalname na stopzetting van bodemopwarming bepalen.

Verder is het belangrijk om aandacht te hebben voor de risico's op brandwonden van de veldwerkers. Het aspect veiligheid kan ook een criterium zijn dat het moment van staalname bepaalt. Aangepaste PBM's moeten gedragen worden.

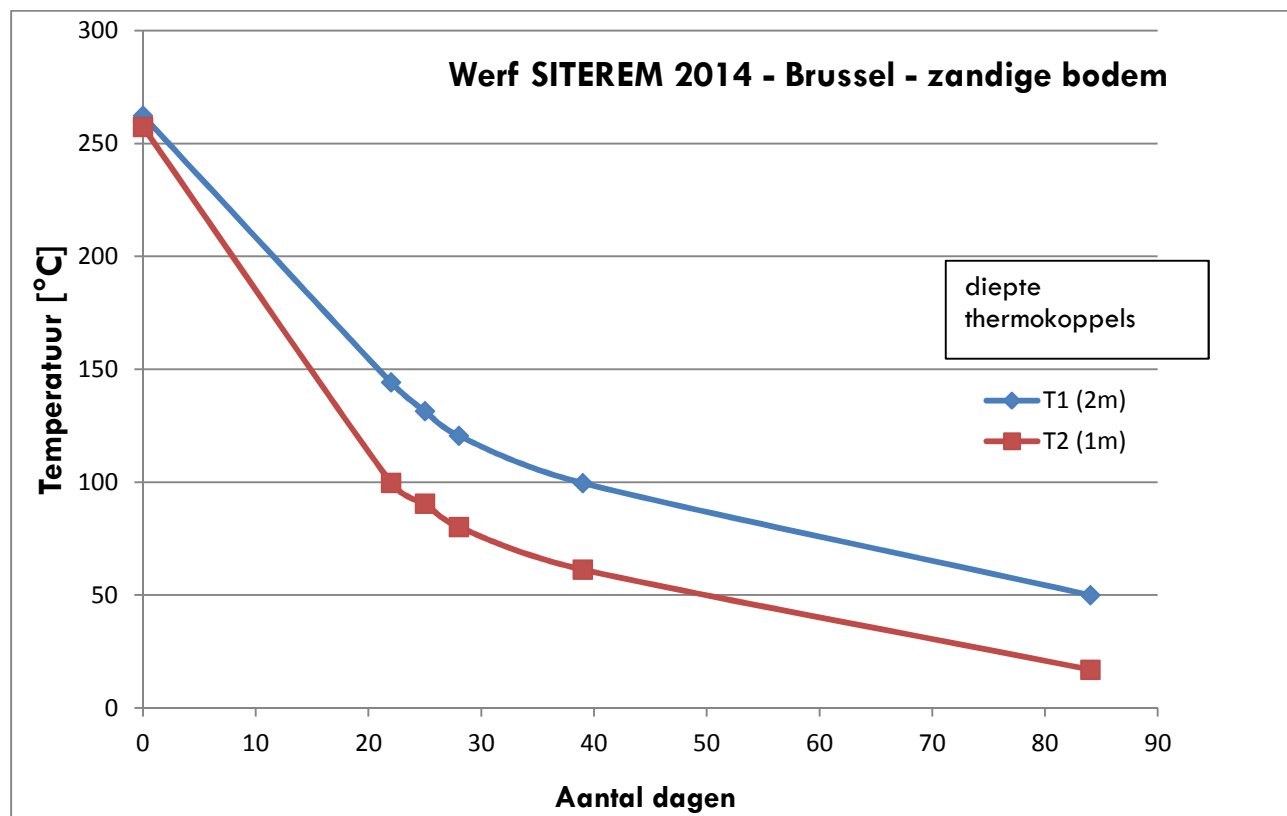
Figuur 12 stelt de temperatuurdaling van een bodem voor na stopzetting van de opwarming. Gezien de infrastructuur niet volledig kan gedemobiliseerd worden tot na de controle van het bereiken van de doelstellingen, kan het gewenst zijn om de afkoelingsperiode te reduceren. Het is mogelijk om de temperatuurdaling van de bodem te versnellen door circulatie van omgevingslucht. Het opstarten van deze maatregel is geval per geval te evalueren met de behandelingsplichtige, de aannemer en de deskundige.

De staalnames van de bodem worden uitgevoerd in de vervuilde bodemlagen met minimum één staal in de kern.

De staalname wordt uitgevoerd op het meest koude punt, gelegen in het midden van 3 verwarmingselementen wanneer deze gecombineerd wordt met onttrekking. Wanneer de

verwarmingselementen en onttrekkingselementen losgekoppeld zijn van elkaar (niet in hetzelfde boorgat geplaatst), worden stalen bij voorkeur in het midden tussen beide genomen.

De deskundige kan echter motiveren om andere locaties te kiezen die een betere representativiteit bieden van de bodemkwaliteit of indien er beperkingen van het terrein zijn naar bereikbaarheid.



Figuur 12 : daling van de bodemtemperatuur van een bodem opgewarmd tot 250°C

11.3.3 METING VAN DRIJFLAGEN

Het meten van drijflagen zal uitgevoerd worden in de zone waar de drijflaag het dikst was voor behandeling. Daarnaast dient een controle uitgevoerd te worden aan de grens van de verontreiniging om de afwezigheid van verspreiding tijdens de behandeling te controleren. De controle wordt uitgevoerd wanneer de temperatuur van het water gedaald is tot de initiële temperatuur gezien de oplosbaarheid van componenten verhoogt met de temperatuur.

12 RAPPORTAGE

Zoals voorgeschreven door [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](#), dient een piloottest uitgevoerd te worden bij een in situ behandeling met thermische desorptie voor opmaak van een SV/RBV of BSV. Gezien het dikwijls technisch onmogelijk of financieel niet redelijk is om een pilootproef uit te voeren voor opstart van het project, dient de deskundige duidelijk op te nemen dat een piloottest nodig is of niet. Hij zal het type rapporten bepalen en het tijdstip waarop deze rapporten moeten ingediend worden bij Leefmilieu Brussel.

Het indienen van één of meerdere tussentijdse rapporten aan Leefmilieu Brussel is te verantwoorden bij :

- Het verschijnen van een drijfslaag.
- Wanneer de verontreiniging in verschillende fases wordt behandeld.

De snelheid van het afnemen van de dikte van een drijfslaag of de resultaten van de eerste behandelingsfase zullen dienen voor een evaluatie van de efficiëntie van de behandeling.

Een tussentijds rapport dient voorgelegd te worden aan Leefmilieu Brussel ter goedkeuring wanneer op basis van de verzamelde gegevens significante wijzigingen aan de behandelingsinstallatie nodig zijn.

13 VALIDATIEMETINGEN EN BESLISBOOM VOOR HET STOPZETTEN-VERDERZETTEN VAN DE BEHANDELING

De validatiemetingen hebben als doel om te verifiëren of de doelstellingen van de behandeling bereikt zijn zodat de behandeling als beëindigd kan beschouwd worden.

In het kader van behandelingswerken door thermische desorptie, bestaan validatiemetingen uit het nemen van bodemstalen of het meten van de grondwaterkwaliteit ter hoogte van de verontreiniging volgens de strategieën bepaald in hoofdstuk 10.3.

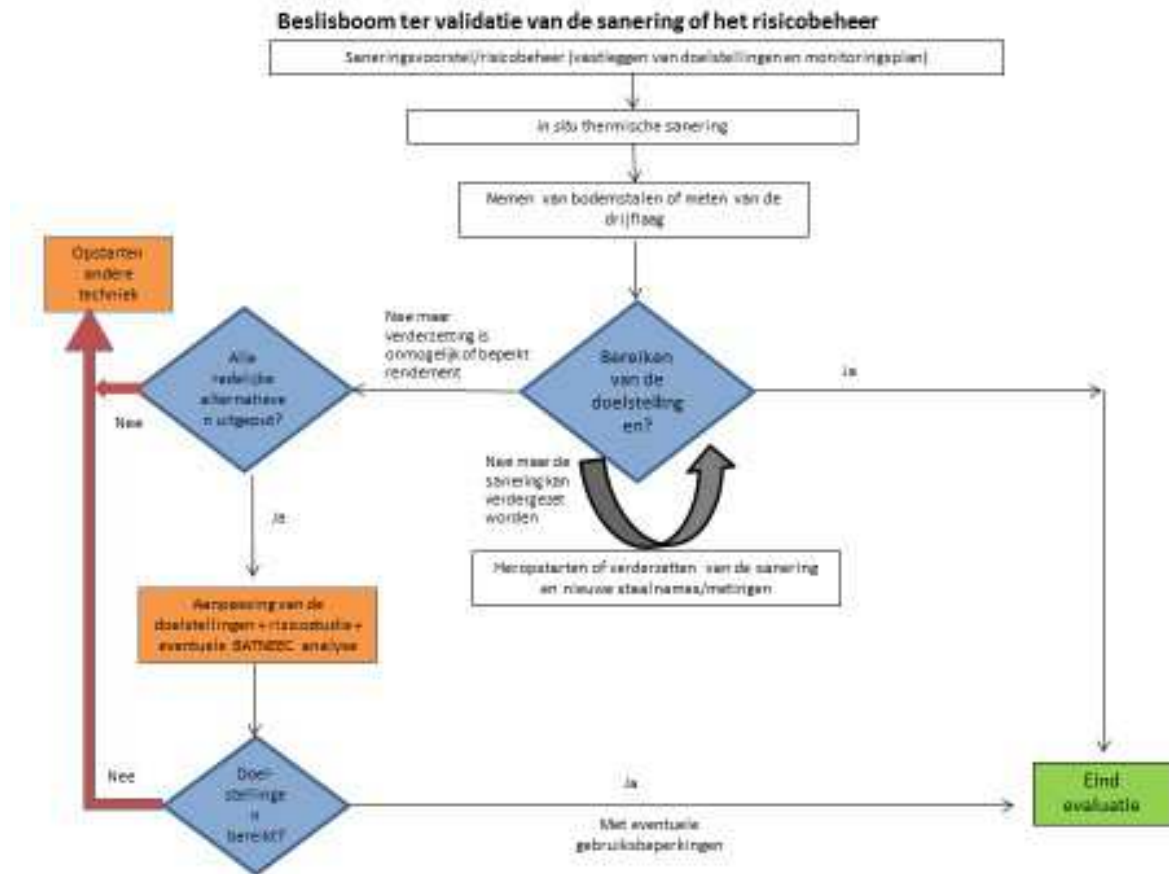
Wat betreft de bodem, zal de meetcampagne minstens uitgevoerd worden op alle polluenten waarvoor behandeling nodig was. Het kan ook nuttig zijn om de concentraties aan andere componenten waarvoor geen behandeling nodig was te verifiëren omdat ook deze concentraties aan het einde van de behandeling kunnen gedaald zijn waardoor de categorie van de toestand van de bodem kan veranderen.

Wanneer de doelstellingen niet bereikt worden, wordt de behandeling verder gezet. Als het niet mogelijk is om de behandeling verder te zetten, bijvoorbeeld door een beperkt rendement of een te grote financiële impact, kan een aanpassing van de doelstellingen voorgesteld worden door de deskundige gelijktijdig met het indienen van een risicostudie (met eventueel een voorstel voor gebruiksbeperking) en indien nuttig, een BATNEEC analyse. Na goedkeuring van deze wijziging door Leefmilieu Brussel, kunnen zich 2 zaken voordoen:

- Op basis van de nieuwe doelstellingen, kan de behandeling als beëindigd beschouwd worden



- Of de behandelingen moeten opnieuw opgestart worden met een andere behandelingstechniek.



14 LANGE TERMIJN MONITORING

Deze lange termijn monitoring kan opgelegd worden als na een thermische behandeling, er lokaal in een peilbuis nog een zekere verontreiniging aanwezig is en de kans bestaat dat er opnieuw een drijfslag zal verschijnen.

Op voorstel van de deskundige en/of op vraag van Leefmilieu Brussel, kunnen opvolgingsmaatregelen (validatie op lange tijd of nazorg) opgelegd worden aan de behandelingsplichtige na het beëindigen van de sanering of het risicobeheer. Deze maatregelen moeten de resultaten van de werken en vooral het bereiken van de doelstellingen op lange termijn bevestigen. De lange termijnmonitoring dient uitgevoerd te worden als er een onzekerheid bestaat over het resultaat op lange termijn: significante variatie van gemeten concentraties in de grondwaterstalen, stabiliseren van de concentraties dicht bij de terugsaneerwaarden, specifieke ongunstige omstandigheden, ...

Wanneer er doelstellingen opgelegd zijn voor de kwaliteit van het grondwater, kan de eventuele lange termijn monitoring uitgevoerd worden op bepaalde peilbuizen in de kern van de verontreiniging en stroomafwaarts.

In tegenstelling tot de controle- en validatiemetingen, moet de lange termijnmonitoring niet uitgevoerd worden op alle monitoringspeilbuizen maar op een bepaald aantal dat representatief is voor de toestand van het grondwater in de verontreinigde zone en de zone stroomafwaarts hiervan.

In elk geval worden één of meerdere peilbuizen stroomopwaarts van geïdentificeerde gevoelige receptoren inbegrepen in de staalname- en analysecampagnes.

De te meten parameters zijn :

- De residuele gehalten aan verontreiniging in het grondwater. Alleen de verontreinigingen in het kader van de behandeling worden geanalyseerd. Eventuele afbraakproducten die schadelijk zijn voor de gezondheid van de mens en omgeving worden ook geanalyseerd.
- De parameters die natuurlijke afbraak van de verontreiniging beïnvloeden of kunnen bewijzen als deze afbraak een rol speelt in de analyse van de risico's veroorzaakt door residuele verontreiniging : pH, O₂, CO₂, methaan, nitraat, sulfaat, nutriënten, ijzer, Mn, ... naargelang de processen die van toepassing zijn bij de natuurlijke afbraak.

15 AANBEVELINGEN OP HET VLAK VAN GEZONDHEID, VEILIGHEID EN ORGANISATIE

15.1 BONDIGE CHECKLIST VOOR DE AANNEMERS

De checklist voor de aannemers is weergegeven in **TABEL 7**. Deze lijst dient om de aannemers te helpen bij het opmaken van hun offertes en antwoorden op de bestekken, opgesteld door de deskundigen. Rekening houdend met de grote diversiteit van de verschillende situaties, zal deze lijst nooit volledig zijn. Onderstaande opmerkingen kunnen gemaakt worden :

- Voor de aannemers met VCA certificaat of equivalent, zijn de maatregelen in **TABEL 7** over veiligheid automatisch van toepassing ;
- De checklist in **TABEL 7** is van toepassing op aannemers en hun onderaannemers in hun respectievelijke vakgebieden ;
- In het algemeen, worden inspectiebezoeken op de werf minimum op halfmaandelijke basis uitgevoerd
- Voor de leidingen met warme lucht en gas, wordt aanbevolen deze te isoleren om het risico op brandwonden en verlies aan energie te beperken ;
- Wanneer een explosierisico kan voorkomen ter hoogte van de verwarmingselementen, leidingen of secundaire zuiveringsinstallatie, wordt het explosierisico (LEL) continue gemeten en veiligheidsmaatregelen treden in werking bij overschrijden van 10% LEL (intrede van lucht en alarm) ;
- Wanneer mazout op de site wordt opgeslagen, worden maatregelen genomen om bodem- en grondwaterverontreiniging te vermijden.

Tabel 7 : Checklist voor aannemers

Rubriek	Controle
Verplicht vooraf beschikbare informatie (bestek, omschrijving der werken,...)	
Kabels en leidingen	Aanvraag bij netwerkbeheerders gedaan en toereikend antwoord ontvangen
Karakteristieken van de infrastructuur op en in de onmiddellijke nabijheid van de site	Inventaris en opmeting van de bovengrondse gebouwen en infrastructuur. Inventaris en opmeting van de ondergrondse structuren.
Stabiliteitsstudie	Kan de aannemer de stabiliteit garanderen als gevolg van een verhoging van de bodemtemperatuur?
Gevoelige receptoren	Toereikende identificatie van gevoelige receptoren op en in de omgeving van de werf
Energie en vloeistoffen	Is op de site elektriciteit (220-360 V), water, gas of mazout aanwezig?
Technische aspecten van het bestek of van de omschrijving der werken	Beschrijving van de uit te voeren werken (locatie, diepte...) en eventuele verlaging van de grondwatertafel (type pompen, type waterzuiveringsinstallatie...)
Beschikbare ruimte	Kunnen de installaties op de site geplaatst worden?
Stopzetten van de werf	Heeft de opdrachtgever rekening gehouden met een stopzettingfase in het kader van de staalname (afkoelingsperiode van de bodem)
Bepaling van de nodige vergunningen en te respecteren normeringen	Nagaan of de nodige vergunningen aangevraagd zijn door de opdrachtgever. Verifiëren of de systeemvereisten in overeenstemming zijn met de normeringen.
Opzoeken van specifieke procedures	Specifieke procedures opzoeken en nagaan of hiermee voldoende rekening is gehouden in het bestek of beschrijving van de werken: transport van gevaarlijk afval, ...
Lozingspunten	Lozingspunten van behandeld water ingeval van eventuele verlaging van grondwater.
De communicatielijnen zijn vastgelegd	Identiteit en coördinaten van bouwheer, opdrachtgever, dossierhouder van Leefmilieu Brussel en bevoegde overheden zijn bekend
Informatie verplicht aanwezig in het Veiligheid-, Gezondheid- en Milieuplan (VGM-plan) van de aannemer	
Identificatie en aard van de risico's	Risico voor ondergrondse infrastructuur
	Risico op grond- en grondwaterverontreiniging als gevolg van de opslag van gevaarlijke producten en/of pollutanten (voorbeeld: mazout voor verwarming)
	Gezondheidsrisico's voor het personeel ten gevolge van de aanwezigheid van vluchtige en gevaarlijke producten
	Risico op brandwonden
	Risico's verbonden aan het betreden van het terrein door niet-bevoegde personen : diefstal, vandalisme en gezondheidsrisico's
	Risico's bij werken in besloten ruimtes (kelders, sleuven, ...) verbonden aan een slechte omgevingsluchtkwaliteit
	Risico's door klimatologische omstandigheden : bevrozing van de leidingen indien een grondwateronttrekking voor verlaging van het grondwater wordt uitgevoerd
	Risico's verbonden aan het verkeer indien er zich infrastructuur op het openbaar domein bevinden
Preventiemaatregelen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de juiste

	preventiemaatregelen te worden vastgelegd en geïmplementeerd (o.a. explosie veilig elektrisch materiaal), evenals een juiste opleiding van het personeel
Verbeterende en interventie maatregelen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de juiste verbeterende en interventie maatregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toepasbaar met hoge snelheid)
Personen en diensten te contacteren bij problemen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de coördinaten van de juiste contactpersonen en diensten te worden vastgelegd : brandweer, gemeente, civiele bescherming, netwerkbeheerder
Vaststelling van mogelijke overlast	Geur en voor de omgeving gevaarlijke dampen in geval van lekken en verliezen aan de installatie
	Lawaai van het materieel : pompen, stroomgroepen, verwarmingsketel
	Verkeersopstoppen
Preventiemaatregelen	Voor alle potentiële overlast, moeten preventiemaatregelen beschreven worden. Bijvoorbeeld, het plaatsen van explosiemeters.
Verbeterende en interventie maatregelen	Voor alle potentiële overlast dienen de juiste verbeterende en interventie maatregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toe te passen met hoge snelheid)
Planning van interventies	
Planning van de fasering	een planning zal aan de bouwheer aangeleverd worden om de fasering van de werken te kennen
Tijdsduur	een tijdsduur zal aan de bouwheer bezorgd worden om de duurtijd van de bezetting van de zone te kennen
Duur monitoring	Validatie van de resultaten voorzien in de planning
Vaststelling van pannes en mogelijk te verwachten technische problemen	Onvolkomenheden aan materieel en installatie
Verbeterende en interventie maatregelen	Voor elk mogelijk te verwachten probleem dienen de juiste verbeterende en interventie maatregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toe te passen met hoge snelheid)
Monitoringsverslagen van de deskundige	Rekening houdend met de monitoringsverslagen van de deskundige en de gecoördineerde implementatie van verbeterende maatregelen of optimalisaties.

15.2 BONDIGE CHECKLIST VOOR DE DESKUNDIGEN

De checklist voor de deskundigen is weergegeven in **TABEL 8**. Deze lijst heeft als doel op de deskundigen te helpen bij de opmaak van een omschrijving van de werken, kostenramingen en opmaken van een bestek voor de aannemers.

TABEL 8 : CHECKLIST VOOR DE DESKUNDIGEN

Rubriek	Controle
Verplicht vooraf beschikbare informatie (voorstudie, bestek, omschrijving der werken,...)	
Karakteristieken van de onverzadigde zone	Samenstelling van de bodem: opeenvolging en eigenschappen van de lagen, aanwezigheid van lagen met verschillende permeabiliteit
Verontreinigde zone	Is de dichtheid van de metingen voldoende om de locatie van de verwarmingselementen/onttrekkingsputten vast te leggen
Grondwater	Is een grondwaterverlaging nodig ?
Drijfslaag	Kan de drijfslaag opgevolgd worden en hoe? Wordt een grondwaterverlaging uitgevoerd?
Aanwezige verontreiniging	Aard van de aanwezige verontreiniging, verdeling van de concentraties, is de bron nog actief?, evaluatie van de vuilvracht in de verschillende bodemfases, aanwezigheid van een drijfslaag?
	Aanwezigheid van componenten waarvoor een secundaire behandeling van gasen nodig is
Karakteristieken van de infrastructuur op de site en onmiddellijke omgeving	Inventaris en plannen van de gebouwen en bovengrondse infrastructuur. Inventaris en plannen van de ondergrondse infrastructuur.
Gevoelige receptoren	Gevoelige receptoren aanwezig op en rond de werf zijn goed geïdentificeerd
Energie en vloeistoffen	Is er op de site elektriciteit (220-360 V), water, gas of elektriciteit aanwezig?
Technische aspecten van de behandeling en beschrijving van de werken	Beschrijving van de uit te voeren werken (locatie, diepte...) en eventuele grondwaterverlaging (type pompen, type grondwaterzuivering...). Kan een efficiënte opvolging uitgevoerd worden (toegankelijkheid inkomend en uitgaand water)
Beschikbare ruimte	Kunnen de installaties op de site geplaatst worden?
Bepaling van nodige vergunningen en te respecteren normeringen	Nagaan of de nodige vergunningen aangevraagd zijn door de opdrachtgever en dat de werken uitgevoerd worden conform de van kracht zijnde wetten.
Opzoeken van specifieke procedures	Specifieke procedures opzoeken en nagaan of hiermee voldoende rekening is gehouden in het bestek of beschrijving van de werken: transport van gevaarlijk afval...
De communicatielijnen zijn vastgelegd	Identiteit en coördinaten van de bouwheer, de opdrachtgever, dossierhouder van Leefmilieu Brussel, bevoegde overheden zijn bekend
Identificatie en aard van de risico's	Risico voor ondergrondse infrastructuren
	Gezondheidsrisico's voor het personeel ten gevolge van de aanwezigheid van vluchtige en gevaarlijke producten
	Risico op brandwonden
	Risico op grond- en grondwaterverontreiniging als gevolg van de opslag van gevaarlijke producten en/of pollutanten (voorbeeld: mazout voor verwarming)
	Risico's door klimatologische omstandigheden : bevriezing van de leidingen indien een grondwateronttrekking voor verlaging van het grondwater wordt uitgevoerd
	Risico's verbonden aan het verkeer indien er zich infrastructuren op het openbaar domein bevinden
Preventiemaatregelen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de juiste



	preventiemaatregelen te worden vastgelegd en geïmplementeerd evenals een juiste opleiding van het personeel
Personen en diensten te contacteren bij problemen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de coördinaten van de juiste contactpersonen en diensten te worden vastgelegd : brandweer, gemeente, civiele bescherming, netwerkbeheerder
Vaststelling van mogelijke overlast	Geur en gevaarlijke dampen voor de omgeving
	Lawaai van het materieel : pompen, stroomgroepen, verwarmingsketel
	Verkeersopstoppen
Preventiemaatregelen	Voor alle potentiële overlast, moeten preventiemaatregelen beschreven worden. Bijvoorbeeld, het plaatsen van explosiometers.
Verbeterende en interventiematregelen	Voor alle potentiële overlast dienen de juiste verbeterende en interventiematregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toe te passen met hoge spoed)
Planning en inhoud van de werkzaamheden in het kader van de opvolging en validatie	
As built plan	Gedetailleerd plan waarin de te behandelen zone wordt weergegeven
Aanwezigheid van de deskundige	Wanneer moet de deskundige zeker aanwezig zijn? Is de aannemer hiervan op de hoogte?
Op te volgen parameters in de bodem	Zijn de op te volgen parameters voldoende? Voldoen de gemeten concentraties aan de doelstellingen vastgelegd in het project?
Op te volgen parameters in het grondwater	Meting van de grondwaterstand, analyse van opgepompt en geloosd water. Zijn deze conform?
Attesten en certificaten	Wanneer worden de certificaten en attesten afgeleverd en door wie?
Rapportage	Planning voor het indienen van het eventuele tussentijds rapport en het eindevaluatie rapport.
Validatiefase van de resultaten, attesten en certificaten	Zijn de verzamelde gegevens voldoende om deze fase te realiseren ?
Risicostudie en (BATNEEC) bij wijziging van doelstellingen	Zijn de verzamelde gegevens voldoende om deze fase te realiseren ?

16 BIBLIOGRAFIE

- Thermopile, augustus 2010. Livret 1 Dossier Technique V07.
- Thermische behandeling van LNAPL. Toepassing van de techniek NSR City^R, GTS. Claude Cedou INTERSOL 2012.
- www.selectdepol.fr. Interactieve tool voor screening van saneringstechnieken Brgm/Ademe.
- Dioxines et furannes – augustus 2011. Bruxelles environnement-Dép. Planification air, climat et énergie et observatoire des données de l'environnement.
- Dossier INRS, Les solvants. 21/10/2010 uit de website www.inrs.fr
- Richtlijn n° 1999/13/CE van de Europese commissie van 11 mars 1999 betreffende het terugdringen van emissies van vluchtige organische componenten als gevolg van het gebruik van organische solventen in bepaalde activiteiten en installaties.
- Decreet 2006-623 van 29 mai 2006 betreffende het terugdringen van emissies van vluchtige organische componenten door het gebruik van organische solventen in bepaalde vernissen en verven en producten voor het overspuiten van voertuigen.
- Composés organiques volatils (COV), december 2007, Etat des lieux : définition, sources d'émissions, exposition, effets sur la santé. Observatoire régional de santé d'Ile-de-France
- [code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'](#)
- Traitabilité des sols pollués. Guide méthodologie pour la sélection des techniques et l'évaluation de leurs performances, ADEME april 2011.
- OQAI. Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments. 2001, 174 p.
- Soil Vapor Extraction, EPA oktober 1994
- Innovative Site Remediation Technology Vol. 8, Paul C. Johnson et al., Springer 1994