

Termisk assisteret oprensning af høfdedepotet, Høfde 42, Harboøre Tange

Litteraturstudie, treatabilityforsøg samt forslag til
termisk afværgemetode

Steffen Griepke Nielsen, Tom Heron og Freddy Steen Petersen
NIRAS

Gorm Heron
TerraTherm

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORKORTELSESLISTE	7
FORORD	9
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	11
SUMMARY AND CONCLUSIONS	15
1 INDLEDNING	19
1.1 BAGGRUND	19
1.2 FORMÅL MED LITTERATURSTUDIUM	19
1.3 FORMÅL MED TREATABILITY FORSØG	20
1.4 LÆSEVEJLEDNING	20
2 LITTERATURSTUDIE	23
2.1 BESKRIVELSE AF UDFØRT LITTERATURSTUDIE	23
2.1.1 <i>Anvendte søgedatabaser og kilder</i>	23
2.1.2 <i>Fremgangsmåde ved søgning</i>	24
2.1.3 <i>Sortering af referencer</i>	24
2.2 PRÆSENTATION AF TERMISKE METODER	25
2.2.1 <i>Dampstripping</i>	25
2.2.2 <i>Termisk ledningsevne (ISTD)</i>	27
2.2.3 <i>Elektrisk opvarmning</i>	29
2.2.4 <i>Injektion og cirkulation af varmt vand</i>	29
2.3 ANVENDELSE AF TERMISKE METODER TIL OPRENSNING AF STOFFER I JORD SVARENDE TIL FORURENINGEN PÅ HØFDE 42	30
2.3.1 <i>In-situ termiske metoder</i>	30
2.3.2 <i>Ex-situ termiske metoder og treatability forsøg</i>	32
2.3.3 <i>Erfaringer fra Cheminova</i>	34
2.4 OPRENSNINGSPROCESSER OG EFFEKTIVITET FOR DE AKTUELLE STOFFER SOM FUNKTION AF TEMPERATUR	36
2.4.1 <i>Mobilisering af forurening ved stigende temperaturer</i>	36
2.4.2 <i>Udvalgte fokusstoffer</i>	37
2.5 HYDROLYSENS AFHÆNGIGHED AF TEMPERATUREN	39
2.5.1 <i>Parathion</i>	40
2.5.2 <i>Malathion</i>	40
2.5.3 <i>Methyl-parathion</i>	41
2.5.4 <i>Ethyl-sulfotep</i>	41
2.6 POTENTIALE FOR MOBILISERING AF FORURENING OG MELLEMLIG OG SLUTPRODUKTER SAMT KVIKSØLV	42
2.6.1 <i>Dannelse af toksiske og/eller persistente stoffer</i>	42
2.6.2 <i>Uønsket mobilisering af forurening</i>	42
2.7 KORROSION SOM FØLGE AF OPVARMNING SAMT MATERIALEVALG 45	
2.7.1 <i>Korrosionsrisiko ved uændret temperatur</i>	45
2.7.2 <i>Materialevalg for termisk oprensning</i>	46
2.7.3 <i>Cheminovas erfaringer</i>	47
2.8 RISIKO FOR PRODUKTION AF UØNSKEDE GASSER OG EVT. FØLGENDE UDVIKLING AF EKSPLOSIONSFARE SAMT LUGTGENER 47	
2.8.1 <i>Produktion af uønskede gasser</i>	47

2.8.2	<i>Uønskede lugtgener under oprensningen</i>	48
2.8.3	<i>Eksplodingsrisiko under oprensning</i>	48
2.9	ARBEJDSMILJØ OG RISIKO FOR PÅVIRKNING AF FAUNA OG/ELLER FLORA PÅ TILSTØDENDE NATURAREALER	51
2.9.1	<i>Arbejds miljø</i>	51
2.9.2	<i>Risiko for påvirkning af fauna</i>	53
2.10	PATENTFORHOLD FOR TERMISK OPRENSNING I DANMARK	54
2.10.1	<i>Injektion/cirkulation af varmt vand</i>	55
2.10.2	<i>Dampinjektion</i>	55
2.10.3	<i>ISTD</i>	55
2.10.4	<i>Andre metoder som indgår i fuld-skala konceptet</i>	55
2.11	SAMMENFATNING AF LITTERATURSTUDIUM	55
3	TREATABILITY STUDY	59
3.1	OVERORDNET FORSØGSBESKRIVELSE	59
3.2	METODER OG MATERIALER	59
3.2.1	<i>Udtagning af sediment og grundvand</i>	59
3.2.2	<i>Modtagelse og homogenisering</i>	61
3.2.3	<i>Karakterisering</i>	61
3.2.4	<i>pH bufferkapacitet</i>	61
3.2.5	<i>Hydrolyseforsøg</i>	62
3.2.6	<i>Termiske reaktorforsøg</i>	62
3.2.7	<i>Forsendelse af prøvematerialer</i>	63
3.2.8	<i>Analyse for Hg</i>	63
3.2.9	<i>Ekstraktion for senere analyse</i>	63
3.2.10	<i>Analyse hos Cheminova</i>	64
3.3	RESULTATER	64
3.3.1	<i>Fysiske parametre</i>	64
3.3.2	<i>pH bufferkapacitet</i>	64
3.3.3	<i>Hydrolyseforsøg</i>	65
3.3.4	<i>Reaktorforsøg</i>	68
3.3.5	<i>Måling af varmeudvikling i reaktorforsøg</i>	71
3.4	NY VIDEN FRA TREATABILITY FORSØG	71
3.4.1	<i>Oprensningsprocesser og effektivitet som funktion af temperatur</i>	72
3.4.2	<i>Risiko for produktion af uønskede gasser samt eksplosion</i>	73
4	MATRICE TIL SCREENING AF RISIKO-REDUKTION I FORHOLD TIL PRISEN PÅ AFVÆRGE	75
4.1	METODER OG ANTAGELSER	75
4.2	RESULTATER	77
4.3	VURDERING OG VALG AF TERMISKE METODE TIL VIDERE BEHANDLING	79
4.3.1	<i>Hydrolyse og varmt vand cirkulation</i>	79
4.3.2	<i>Opvarmning til 90 °C (varmt vand suppleret med ISTD, eller dampinjektion)</i>	79
4.3.3	<i>Opvarmning til 100 °C (dampinjektion eller ISTD)</i>	79
4.3.4	<i>Opvarmning til 300 °C (ISTD med udtørring)</i>	80
4.3.5	<i>Behandling over det indskudte lerlag eller både over og under</i>	80
4.3.6	<i>Behandling inden for nuværende spuns og alternativt både indenfor og udenfor</i>	80
4.3.7	<i>Valg af termisk løsning til viderebehandling</i>	80
5	TERMISKE AFVÆRGEFORANSTALTNINGER VED HØFDEDEPOTET	82
5.1	KONCEPT FOR FULDSKALAOPRENSNING	82
5.1.1	<i>Valg af areal og dybde</i>	82

5.1.2	<i>Overordnet procesbeskrivelse</i>	84
5.1.3	<i>Boringsdetaljer og placering</i>	86
5.1.4	<i>Oprensingsstrategi</i>	89
5.2	MASSE OG ENERGIBALANCER	90
5.3	TIDSFORBRUG OG OMKOSTNINGER	91
5.3.1	<i>Tidsforbrug</i>	91
5.3.2	<i>Overslag over omkostninger ved fuldskala termisk oprensning</i>	92
5.4	FORVENTEDE OPRENSNINGSEFFEKTIVITETER	94
5.5	KRITISKE ELEMENTER OG USIKKERHEDER	95
5.5.1	<i>Infrastruktur og tilførsel af vand, brændsel og strøm.</i>	95
5.5.2	<i>Behandling og afledning af spildevand</i>	95
5.5.3	<i>Behandling og udledning af luft</i>	95
5.5.4	<i>Pneumatisk kontrol og lugtgener i feltskala</i>	96
5.5.5	<i>Hydraulisk kontrol i feltskala</i>	96
5.5.6	<i>Dampinjektionsrater og udbredelse – opnåelse af de ønskede temperaturer</i>	96
5.5.7	<i>Kan borerne holde til det korrosive miljø?</i>	96
5.5.8	<i>Risici for eksplosion</i>	97
6	ANBEFALINGER TIL FASE 2	98
6.1	FASE 2 - FORMÅL OG AFGRÆNSNING	98
6.2	PILOTPROJEKT - VALG AF AREAL OG DYBDE	99
6.3	PROCESBESKRIVELSE	100
6.4	BORINGSDETALJER	101
6.5	OPRENSINGSSTRATEGI	102
6.6	MASSE OG ENERGIBALANCER	103
6.7	ANLÆGSSTØRRELSE	104
6.8	MONITERING OG PRØVETAGNING	105
6.9	OVERSLAG OVER OMKOSTNINGER VED PILOTPROJEKT	106
6.10	YDERLIGERE ANBEFALINGER	108
7	PILOTPROJEKT MED DAMP ELLER ISTD	109
8	REFERENCER	113

Appendiksfortegnelse

Appendiks 1: Fuldskala termisk oprensning og pilotforsøg med ISTD

Bilagsfortegnelse

Bilag A: Søgeresultater fra litteratursøgning
 Bilag B: Kemiske nøgleparametre for COC'er
 Bilag C: Halveringstider ved hydrolyse for udvalgte COC'er
 Bilag D: Health and safety Plan, Rocky Mountain Arsenal (engelsk)
 Bilag E: Procedurer for beskyttelse mod luftbåren eksponering (engelsk)
 Bilag F: Internationale ISTD-relaterede patenter og opfindelser (engelsk)
 Bilag G: Væsentligste patenter for ISTD-anvendelse i Danmark (engelsk)
 Bilag H: Eksperimentiel design – Kemron (engelsk)
 Bilag I: Rapport over Treatability forsøg – Kemron (engelsk)
 Bilag J: Analyseresultater fra Cheminova
 Bilag K: Screenings-matrix for fuldskala termisk oprensning

Forkortelsesliste

CAS	Chemical Abstracts Service
COC	Contaminants Of Concern
CVOC	Chlorinated Volatile Organic Compound
DDD	Dichlorodiphenyldichloroethane
DDE	Dichlorodiphenyldichloroethylene
DDT	Dichlorodiphenyltrichloroethane
DNAPL	Dense Non-Aqueous Phase Liquid
DNT	2,4- og 2,6-dinitrotoluen
EP3	Parathion
HMX	Octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazin
ISTD	In-Situ Thermal Desorption
MP3	Methylparathion
NAPL	Non-Aqueous Phase Liquid
LEL	Lower Explosive Limit
PCB	Polychlorinated Biphenyls
PCE	Tetrachlorethylen
PNF	Paranitrofenol
ppm	parts per million
ppmv	parts per million volume
RDX	Hexahydro-1,2,5-trinitro-1,3,5-triazin
SEE	Steam Enhanced Extraction
SVOC	Semivolatile organic compound
TCE	Trichlorethylen
TNT	2,4,6-trinitrotoluen
TOC	Total Organic Carbon
VOC	Volatile Organic Compound

Forord

Denne rapport udgør slutrapporten for fase 1 i projektet "Termisk assisteret oprensning af sediment- og grundvandsforureningen på depotet ved Høfde 42 – Projektbeskrivelse og forundersøgelse fra Miljøstyrelsens Teknologiprogram for Jord og Grundvand samt Ringkjøbing Amt.

Styregruppen, som har fulgt og kommenteret projektet, består af Ole Kiilerich fra Miljøstyrelsen, Børge Hvidberg fra Ringkjøbing Amt og Henrik Aktor fra Aktor Innovation.

Rapporten er udarbejdet af Gorm Heron, TerraTherm og Tom Heron, Steffen Griepke Nielsen og Freddy Steen Petersen, NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S.

Der rettes en stor tak til følgende nuværende og tidligere medarbejdere på Cheminova, som takkes for værdifuld sparring og samarbejde: Elsa Voldbjerg Sørensen, Bo Breinbjerg, Christian Bastholm; Claus Ove Sørensen, René Lapholm, Lars Slot, Peter Damborg, Jess Jessen, Frants Vestergaard og Knud Erik Christensen samt hele Spildevandslaboratoriet. Endvidere rettes tak til forskningsbibliotekar ved Statsbiblioteket, John Kruuse, som har bistået med hjælp til den gennemførte litteratursøgning.

Der rettes desuden en stor tak til Erik Degn, der som tidligere medarbejder ved Ringkjøbing Amt har oparbejdet stor indsigt i såvel historik som fagteknik relateret til jord- og grundvandsforureningen ved Høfde 42.

Sammenfatning og konklusioner

For Miljøstyrelsen og Ringkjøbing Amt har NIRAS og TerraTherm arbejdet på at vurdere, om det er muligt at benytte en termisk assisteret oprensning-metode til fjernelse af sediment- og grundvandsforurening i og omkring depotet ved Høfde 42.

Nærværende rapport beskriver følgende aktiviteter:

- Litteraturstudie om termiske metoder set i forhold til forureningen i høfdedepotet
- Treatability forsøg med termiske metoder på vand og sediment fra høfdedepotet
- Valg af den mest egnede termiske løsning og beskrivelse af en fuldskala-oprensning
- Beskrivelse af muligt pilotprojekt

Litteraturstudiet har haft til formål at kortlægge erfaringer med termiske metoder anvendt på lokaliteter svarende til depotet ved Høfde 42. Studiet har identificeret over 700 referencer, hvoraf 33 er anvendt. Endvidere indgår TerraTherms rapport- og artikelarkiv.

I hovedtræk kan konkluderes følgende på baggrund af det gennemførte litteraturstudie:

- Der foreligger ikke feltdata for termiske oprensningsprojekter omhandlende stoffer svarende til stofferne på Høfde 42, men tilsvarende projekter tyder på meget høj oprensningseffekt.
- De fosforbaserede insekticider, som forekommer i høfdedepotet, er ikke højmobile, og stofferne nedbrydes ved hydrolyse under 100 °C under bestemte pH-forhold.
- Biprodukter fra nedbrydningen af fosforbaserede insekticider kan være problematiske og en eventuel termisk afværgeforanstaltning skal således håndtere nedbrydningsprodukterne også.
- Materialevalg til boringer og afværgeanlæg er kritisk på grund af korrosionsrisiko.
- Arbejdsmiljø under oprensningen vurderes at kunne sikres via standard procedurer og en jobspecifik analyse.
- Risiko for spredning af stoffer kan minimeres med allerede anvendte metoder (pneumatisk og hydraulisk kontrol).
- Fosforbaserede insekticider som parahtion og methylparathion har vist sig at være termisk ustabile, og det skal afklares, om der er risiko for eksplosionsfare i forbindelse med en eventuel termisk oprensning af høfdedepotet.
- Termiske metoder tyder meget lovende til oprensning af depotet ved Høfde 42 – termisk oprensning kan sandsynligvis foregå ved temperaturer under eller på 100 °C.

- Patentforholdene for anvendelse af termisk oprensning i Danmark er afklarede og håndterbare.

På baggrund af oplysninger fra litteraturstudiet er der udført treatability forsøg med henblik på at belyse en række fysiske egenskaber, pH bufferkapacitet, nedbrydningsrater som funktion af pH og temperatur samt udvaskning og fjernelse af udvalgte stoffer ved opvarmning og gennemskylning. Endvidere er gas- og varmeudviklingen i udvalgte forsøg som følge af opvarmningen undersøgt.

Treatability forsøgene har vist følgende oprensningseffektiviteter:

- At termisk behandling ved 300 °C vil medføre en fuldstændig fjernelse af de målte organiske stoffer, og ca. 85 % reduktion i koncentrationen af Hg.
- At opvarmning til 100 °C og gennemskylning med damp fører til væsentlig reduktion af koncentrationerne af færdigvarer (92 % for ethyl-parathion og fjernelse til under detektionsgrænsen for øvrige stoffer). Den forventede effekt i felt-skala er endnu større, sandsynligvis kan ethyl-parathion ved længere tids behandling elimineres helt. Det skal bemærkes, at denne behandling ikke reducerer koncentrationen af Hg i sedimentet.
- At opvarmning til 90 °C og gennemskylning med varmt vand fører til reduktion af koncentrationerne af færdigvarer (81% for ethyl-parathion og fjernelse til under detektionsgrænsen for øvrige stoffer). Den forventede effekt i felt-skala er større, sandsynligvis kan ethyl-parathion ved længere tids behandling elimineres helt. Det skal bemærkes, at denne behandling ikke reducerer koncentrationen af Hg i sedimentet.
- At opvarmning til 70 °C og gennemskylning med 10 porevoluminer varmt vand gav anledning til en reduktion af færdigvarekoncentrationerne på mellem 22 og 60 % i reaktorforsøgene. Oprensningseffektiviteten var lavest for ethyl-parathion, som forekommer i størst koncentration (reduktion fra 3.700 til 2.900 mg/kg TS).

Treatability forsøgene bekræfter endvidere, at de termiske metoder medfører en risiko for produktion af uønskede gasser samt en potentiel risiko for eksplosionsfare i sedimentmatrix.

- Gasmålinger viser, at der kan dannes uorganiske gasser under hydrolysen og termisk behandling. Der frigives eller dannes VOC, H₂S, SO₂, NO og CO. Det er derfor nødvendigt med god pneumatisk kontrol under en evt. oprensning.
- Moniteringen af temperaturen i henholdsvis ovn og reaktor under forsøgene viser ikke umiddelbart tegn på markante exoterme processer. NIRAS har efterfølgende adspurgt Cheminova om virksomhedens erfaringer mht. stabiliteten af fx færdigvarer ved opvarmning, og den udførte temperaturmåling i reaktorforsøgene er endvidere blevet diskuteret. Cheminova anbefaler, at der udføres et mindre antal supplerende kalorimeterforsøg med svært forurenede sediment fra høfdedepotet.

På baggrund af resultaterne fra treatability forsøgene er der opstillet 16 mulige oprensningsscenarier til behandling af forureningen i høfdepotet. Scenarierne omfatter både behandling over og under det indskudte lerlag på lokaliteten samt uden for og inden for den etablerede spuns ved brug af forskellige termiske metoder. Der er gennemført en analyse af de enkelte scenarier under hensyntagen til bl.a. fjernet forureningsmasse, risikoreduktion samt relativ pris.

På baggrund af den gennemførte analyse er det vurderet, at det oprensningsmæssigt, økonomisk og praktisk er mest optimalt at benytte et oprensnings-scenarium med termisk behandling indenfor den etablerede spuns ved minimum 90 °C under det indskudte lerlag, og termisk behandling ved 100 °C over det indskudte lerlag.

En sådan oprensning kan opnås enten ved anvendelse af den termiske løsning ISTD eller ved injektion af damp. Da oprensningen ved hjælp af damp er velafprøvet/udviklet i fuld skala i Danmark og desuden anses for billigere på den aktuelle sag, er denne løsning udvalgt til et oprensningskoncept bestående af oprensning med damp over og under det indskudte lerlag.

Efterfølgende beskrives den valgte termiske løsning med damp på fuldskala niveau. Løsningens anlægsmæssige design samt hovedtrækkene i oprensningsstrategien præsenteres, ligesom løsningens forventede forbrug af ressourcer i form af bl.a. energi skønnes. Der gives endvidere et prisoverslag over omkostningerne forbundet med gennemførelse af den præsenterede termiske løsning, ligesom den forventede oprensningseffektivitet, kritiske elementer samt usikkerheder præsenteres.

Der afsluttes med en anbefaling til aktiviteter i projektets Fase 2. Et foreløbigt design til et muligt pilotprojekt skitseres og oprensningsstrategien, et muligt monitoringsprogram samt pilotprojektets forventede forbrug af ressourcer præsenteres. Der gives et prisoverslag over omkostningsniveauet for det beskrevne pilotprojekt, samt yderligere anbefalinger til supplerende aktiviteter, der sammen med resultaterne fra pilotprojektet vil kunne give et forbedret grundlag for design af en evt. fuldskala oprensning.

Som et alternativ til et pilotprojekt og en fuldskala oprensning med damp er der i appendiks 1 beskrevet og prissat hhv. pilot og fuldskalaprojekt for tilsvarende løsninger, hvor ISTD anvendes til opvarmning og behandling af høfdepotet.

Summary and conclusions

On behalf of the Danish Environmental Protection Agency and Ringkjøbing County the consultants NIRAS and TerraTherm have completed a preliminary evaluation of the possibilities of applying thermally assisted remediation methods for the removal of sediment and ground water pollution in and around the dumpsite located at “Høfde 42”, Harboøre Tange in Denmark.

The present report describes the following activities:

- Literature studies of thermal methods in relation to the pollution of the dumpsite at “Høfde 42”
- Treatability tests with thermal methods on water and sediment from the dumpsite at “Høfde 42”
- Selection of the most suitable thermal solutions and description of a full scale remediation
- Description of a possible pilot project.

The aim of the literature study was to survey past results obtained by thermal methods applied at locations equivalent to “Høfde 42”. The study identified more than 700 references, of which 33 are utilized. Furthermore, the report and article database of TerraTherm is included.

In outline the following can be concluded on the basis of the implemented literature study.

- There is no field data available on thermal remediation methods for substances equivalent to those at “Høfde 42”. However, similar projects suggest a considerable remediation effect.
- The phosphoric insecticides found at “Høfde 42” are not highly energized, and the substances can be degraded by hydrolysis at less than 100 degrees Celsius, if submitted to an environment with a specific pH value.
- By-products from the degradation of phosphoric insecticides have proven problematic, and prospective thermal prevention measures will have to manage those as well.
- Equipment materials for drilling and safety installations are critical due to the risk of corrosion.
- It is estimated that the working environment during the remediation procedure can be secured by means of standard procedures and a job specific analysis.
- The risk of substance spreading can be minimised by well-known methods (pneumatic and hydraulic control).
- Phosphoric insecticides such as parathion and methyl parathion have proven thermally unstable, and it must be determined, whether there is any danger of explosion in connection with thermal remediation of the dumpsite at “Høfde 42”.

- Thermal methods seem very promising for remediation the dumpsite. A thermal remediation can possibly be carried out at a temperature below or at 100 degrees Celsius.
- The patent conditions surrounding the use of thermal remediation in Denmark are clear and manageable.

Based on information from literature studies treatability tests have been carried out in order to expose a series of physical characteristics, pH buffer capacity, degeneration rates as a function of pH value and temperature as well as leaching and removal of selected substances by heating and flushing. Furthermore, gas and heat degeneration due to the increase in temperature have been examined in a screened test.

The treatability tests showed the following remediation efficiencies:

- That thermal treatment at 300 oC will result in complete removal of the measured organic substances and an approximately 85 % reduction of the Hg levels.
- That a temperature rise to 100 oC and steam flushing will result in a considerable reduction of the concentrations of the Chemicals Of Concern, COC, i.e. 92 % for ethyl parathion and a reduction below the level of detection in the remaining substances. The expected effect at field scale is even bigger, and ethyl parathion can probably be eliminated totally by extensive treatment. It must be noted, that this treatment does not, however, reduce the concentration of Hg in the sediment.
- That a temperature rise to 90 oC and flushing with hot water will result in a reduction of the concentrations of COC, i.e. 81 % for ethyl parathion and a reduction below the level of detection in the remaining substances. The expected effect at field scale is even bigger, and ethyl parathion can probably be eliminated totally by extensive treatment. It must be noted, that this treatment does not, however, reduce the concentration of Hg in the sediment.
- That a temperature rise to 70 oC and a flushing with 10 pore volumes of warm water caused a reduction of COC, i.e. reduction of concentrations between 22 and 60 % in the reactor tests. The remediation efficiency was the lowest for ethyl parathion, which occurs in the largest concentrations (reduction from 3.700 to 2.900 mg/kg TS).

Moreover, the treatability tests confirm that the thermal methods entail a risk of production of unwanted gasses and a potential risk of explosion in the sediment matrix.

- Gas readings show a possible formation of inorganic gasses during the hydrolysis and thermal treatment. VOC, H₂S, SO₂, NO and CO will be released or generated. As such, a thorough pneumatic control is vital during possible future remediation.
- The monitoring of the temperature in the oven and reactor respectively does not show any immediate signs of distinctive exothermic processes during the tests. Consequently, NIRAS has consulted Cheminova regarding the company's experiences concerning the sta-

bility of parathion, methyl-parathion etc. during heating. Furthermore, the temperature readings carried out during the reactor tests have been discussed. Cheminova recommends that a small series of supplementing calorimeter tests with heavily polluted sediment from the "Høfde 42" is carried out.

Based on the results of the treatability tests, 16 possible remediation scenarios have been listed. The scenarios include both treatments above and under the straddled argillaceous stratification at the location as well as outside and inside of the established cap by means of various thermal methods.

An analysis of the respective scenarios has been carried out with consideration of e.g. the polluted mass removed, risk reduction and relative cost.

Consequently it is estimated, that the most favourable solution in terms of remediation, economy and practicability will be to use a remediation scenario consisting of thermal treatment within the established cap at a minimum of 90 oC below the straddled argillaceous stratification and thermal treatment at 100 oC above the straddled argillaceous stratification.

Such a remediation can be obtained either by circulation of hot water and ISTD or by injection of steam in both layers. As remediation by steam is well tested and developed at full scale in Denmark, and furthermore because it is considered to be less costly in the present case, this solution has been selected as remediation concept.

Subsequently the selected thermal solution will be described at a full scale level. The design and the main parts of the strategy are presented, and the expected amount of resources in terms of e.g. energy is estimated. Furthermore a price estimate of the expenses connected to the implementation of the presented thermal solution as well as the expected remediation efficiency, critical elements and uncertainties are presented.

Finally a recommendation for activities in the second phase of the project will be given. A preliminary design for a possible future pilot programme is drafted, and the remediation strategy, a possible monitoring program and the expected consumption of resources of a pilot programme is presented.

A price estimate of the cost level of the described pilot program and further re-commendations for supplementing activities together with the result of the pilot programme will enable an improved basis for the design of a future full scale remediation treatment.

Appendix 1 ISTD describes an alternative to pilot-program and full-scale remediation by use of steam. A price estimate and further recommendations for supplementary activities for the ISTD remediation are also described.

1 Indledning

1.1 Baggrund

For Miljøstyrelsen og Ringkjøbing Amt arbejder NIRAS og TerraTherm på at vurdere, om det er muligt at benytte en termisk assisteret oprensningstype til fjernelse af sediment- og grundvandsforurening i og omkring depotet ved Høfde 42.

Nærværende rapport beskriver fremgangsmåde og resultater for et litteraturstudium vedrørende oprensning af lokaliteter samt af treatability forsøg udført i laboratoriet med jord og grundvand fra høfdedepotet.

Endvidere gives anbefalinger med henblik på det videre arbejde med anvendelse af termiske teknikker på Høfde 42, og der opstilles et overordnet forslag til pilotprojekt.

Rapporten er udarbejdet med udgangspunkt i projektbeskrivelse af 12. december 2005 [NIRAS og TerraTherm, 2005] og udgør rapporteringen af projektets fase 1.

På baggrund af Miljøstyrelsens og Ringkjøbing Amts samlede vurdering af afværgemulighederne over for forureningen i høfdedepotet træffes beslutning om gennemførelse af en fase 2 for udvalgte teknologier. Fase 2 vil omfatte feltafprøvning i pilotskala af de mest lovende teknikker samt eventuelt yderligere belysning af nøgleproblemstillinger mht. anlægsopbygning, processer, risici mv.

1.2 Formål med litteraturstudium

En lang række af de maskintekniske og procesmæssige forhold ved termisk assisterede oprensningstyper er velkendte, veldokumenterede og udbydes kommercielt, herunder af TerraTherm. Mange aspekter af en termisk oprensning af høfdedepotet er således kendt teknologi, som ikke behøver at blive afklaret yderligere gennem litteraturstudier.

Der foreligger dog ikke erfaring med brug af termisk assisterede oprensninger over for henholdsvis stofsammensætning og de koncentrationer af bl.a. pesticider og kviksølv, som er til stede i depotet ved Høfde 42.

Der har derfor været behov for at indsamle og systematisere eksisterende viden, som kan have relevans for anvendelse af termisk assisterede oprensningstyper til fjernelse af forureningen ved Høfde 42.

Litteraturstudiet har således haft til formål at samle eksisterende viden inden for følgende områder:

- Anvendelse af termiske metoder til oprensning af jord svarende til forureningen på Høfde 42.
- Oprensningstyper og effektivitet over for de aktuelle stoffer.

- De aktuelle stoffers stabilitet og opførsel ved temperaturer mellem 50 og 350 °C.
- Anvendelsen af opvarmning i miljøer med højt saltindhold, ekstremt lavt pH og stærkt reduceret miljø, herunder materialevalg og udformning af udstyr.
- Patentforhold for anvendelse i Danmark.
- Arbejdsmiljø og påvirkning af følsomme naturarealer.

1.3 Formål med treatability forsøg

På baggrund af litteraturstudiet er der gennemført treatability forsøg til belysning af de mest lovende termiske metoder til oprensning af sediment og grundvand fra Høfde 42. I forsøgene er der lagt særlig vægt på at belyse fjernelseseffektivitet og -mekanismer samt dannelse og ophobning af kendte mellem- og slutprodukter under nedbrydning af stofferne i depotet.

Formålet med treatability forsøgene har været at:

- Belyse forureningsfjernelsen for udvalgte stoffer ved opvarmning til hhv. ca. 70, 90, 100 og 300 °C.
- Belyse effekten på pH, bufferkapacitet, nedbrydningsrater og udvaskning af udvalgte forureningskomponenter af opvarmningen til de forskellige temperaturer.
- Belyse hydrolysen af udvalgte stoffer ved 10 og 70 °C.
- I udvalgte forsøg at belyse gas- og varmeudviklingen som følge af opvarmningen.

Treatability forsøgene har endvidere til formål at belyse, om en eller flere af de termiske oprensningsmetoder evt. bør indgå i et pilotprojekt i projektet fase 2.

1.4 Læsevejledning

I kapitel 2 beskrives indhold og resultater af det udførte litteraturstudie, som har til formål at kortlægge erfaringer med termiske metoder anvendt på lokaliteter svarende til depotet ved Høfde 42.

Der er udført treatability forsøg på baggrund af resultaterne fra litteraturstudiet, og i kapitel 3 præsenteres design og resultater fra de udførte hydrolyseforsøg og termiske reaktorforsøg. Forsøgene belyser således forureningsfjernelsen i svært forurenede sediment fra høfdedepotet ved forskellige termiske løsninger.

I kapitel 4 vurderes den relative reduktion i risiko for de testede termiske løsninger ved Høfde 42 i relation til prisen på afværgeren. Endvidere vurderes de testede termiske metoder indbyrdes, og den mest lovende metode udvælges til et eventuelt pilotprojekt i fase 2.

I kapitel 5 beskrives den valgte termiske løsning på fuldskala niveau med opvarmning af det forventede kildeområde inden for den allerede etablerede spuns ved brug af damp. Løsningens anlægsmæssige design samt hovedtrækene i oprensningsstrategien præsenteres, ligesom løsningens forventede forbrug af ressourcer i form af bl.a. energi estimeres.

Kapitel 6 beskriver et pilotprojekt, som har til formål at vurdere egnetheden af den valgte termiske metode på den aktuelle forurening ved Høfde 42. Der opstilles et prisoverslag for anlæg og drift af et termisk pilotprojekt i et 100 m² delområde i hotspot. Afslutningsvis opstilles en række anbefalinger til aktiviteter, som er relevante i en eventuel fase 2 af projektet.

2 Litteraturstudie

2.1 Beskrivelse af udført litteraturstudie

Litteratursøgningen er gennemført på Statsbiblioteket i Århus den 8. til 10. februar 2006 og dækker således publiceret materiale i de anvendte søgedatabaser frem til dette tidspunkt. I forbindelse med litteratursøgningen har forskningsbibliotekar ved Statsbiblioteket, John Kruuse, bistået med hjælp til præcisering og målretning af søgningen samt til udpegning af relevante søgedatabaser.

2.1.1 Anvendte søgedatabaser og kilder

Følgende søgedatabaser og kilder er benyttet i forbindelse med litteraturstudiet [Kruuse, 2006]:

- *SciFinder Scholar Chemical Abstracts*. Søgedatabasen dækker referencer til artikler, patenter samt et begrænset antal bøger tilbage til 1909. Chemical Abstracts er kendt for at indekserer "alt", hvad der vedrører kemi, uanset om tidsskriftet er et egentligt kemi-tidsskrift. Pt. er over 2.200 rene kemi-tidsskrifter dækket af søgedatabasen, mens i alt ca. 20.000 tidsskriftstitler indgår i databasen. I databasen kan gennemføres fritekstsøgninger samt søgninger på enkelte stoffers CAS Registry Number.
- *Web of Science*. Søgedatabasen går tilbage til 1945 og dækker udelukkende de mest indflydelsesrige tidsskrifter. Web of Science er identisk med Science Citation Index Expanded. I alt er ca. 6.500 tidsskrifter dækket af søgedatabasen. I Web of Science er det muligt at lave søgninger ud fra særligt relevante referencer (Related records-søgninger).
- *SCOPUS*. Databasen er en forholdsvis ny søgedatabase og dækker referencer tilbage til 1996. I alt dækker søgedatabasen ca. 15.000 tidsskrifter inden for natur- og sundhedsvidenskab. I SCOPUS er kun artiklens titel og eget abstract søgbare.
- *Google Scholar*. Som supplement til søgninger i ovenstående søgedatabaser er søgemaskinen Google Scholar ligeledes benyttet i begrænset omfang. Google Scholar dækker videnskabelige artikler publiceret eller nævnt på Internettet, herunder bl.a. afhandlinger, specialer, bøger, uddrag og artikler anmeldt af fagfolk fra akademiske forlag, faglige sammenslutninger, dokumentdatabaser, universiteter og andre videnskabelige organisationer.
- *Mundtlige kilder*. I nødvendigt omfang er benyttet oplysninger indhentet mundtligt fra relevante personer. Såfremt mundtlige kilder er benyttet, vil der være en henvisning til kilden i teksten.

Niels Berg Olsen, som er specialist i databasesøgning på Danmarks Tekniske Videnscenter ved Danmarks Tekniske Universitet har efterfølgende verificeret, at de anvendte søgedatabaser fuldt ud dækker den litteratur, som er interessant i forbindelse med den termiske oprensning på Høfde 42.

2.1.2 Fremgangsmåde ved søgning

Da Statsbiblioteket udelukkende har adgang til én licens til søgedatabasen Chemical Abstracts, er søgninger heri gennemført af forskningsbibliotekar John Kruuse. Der er gennemført fritekstsøgninger på relevante søgeord, ligesom CAS-numre på projektets COC'er (Contaminants Of Concern) er søgt i databasen.

I de øvrige databaser er ligeledes søgt på relevante søgeord som f. eks. *"thermal and remediation and pesticides"*, *"thermal and parathion"*, *"hot water flooding"*, *"steam enhanced remediation"*, *"abiotic hydrolysis"* osv.

Søgeresultaterne er efterfølgende overført elektronisk til det webbaserede referencehåndteringsprogram RefWorks, og alle referencer er efterfølgende håndteret elektronisk for at minimere fejl.

2.1.3 Sortering af referencer

Ved søgningen forekommer dubletter af referencer, dvs. samme reference fundet under flere søgninger med forskellige søgeord eller i flere søgedatabaser. Frasorteringen af dubletter er foretaget elektronisk i RefWorks. De resterende referencer er efterfølgende sorteret manuelt. Den manuelle sortering er foretaget med udgangspunkt i artiklens titel samt det tilhørende abstract. Der er i første omgang gennemført en grovsortering, som sidenhen er opfulgt af en finsortering.

Ved grovsorteringen er artikler frasorteret, som umiddelbart ikke er relevante i forbindelse med den konkrete termiske oprensning på Høfde 42. Det er eksempelvis artikler omhandlende termiske oprensninger af chlorerede opløsningsmidler eller artikler om mikrobiel nedbrydning af projektets COC'er, som heller ikke umiddelbart er relevante i denne sammenhæng.

Ved finsorteringen er hvert enkelt abstract nærlæst af to personer, som har vurderet, om artiklen kan tilføre projektgruppen ny viden eller ej.

I Bilag A er vedlagt en liste over samtlige søgeresultater fundet ved den gennemførte litteratursøgning. Resultatet af litteratursøgningen er angivet i tabel 2.1.

Tabel 2.1 Udvælgelsesproces for litteratur ved den gennemførte søgning

	Antal
Samlet antal referencer	827
- heraf dubletter (samme reference fundet i forskellige databaser)	135
Referencer til manuel sortering	692
Referencer efter 1. manuelle sortering	131
Referencer efter 2. manuelle sortering	33

Der er således identificeret 33 artikler ved litteratursøgningen, som er vurderet relevante. De 33 artikler er efterfølgende bestilt hjem, heraf 6 stk. fra udlandet.

Ud over de ved søgningen fundne artikler er der løbende fremskaffet artikler fra relevante kilder, herunder rapporter fra Ringkjøbing Amts hjemmeside, afrapporteringer af gennemførte oprensninger mv.

Der er endvidere gennemført en række interviews af flere ressourcepersoner blandt tidligere og nuværende medarbejdere ved henholdsvis Cheminova A/S og Ringkjøbing Amt.

I det følgende er resultatet af litteratursøgningen præsenteret.

2.2 Præsentation af termiske metoder

I det følgende er de termiske metoder, som det er vurderet muligt at benytte ved en eventuel termisk oprensning ved Høfde 42, præsenteret. Opvarmningsmetoderne dampstripping, termisk ledningsevne og direkte elektrisk opvarmning er præsenteret. Desuden er valgt at inkludere muligheden for oprensning ved injektion og cirkulation af varmt vand.

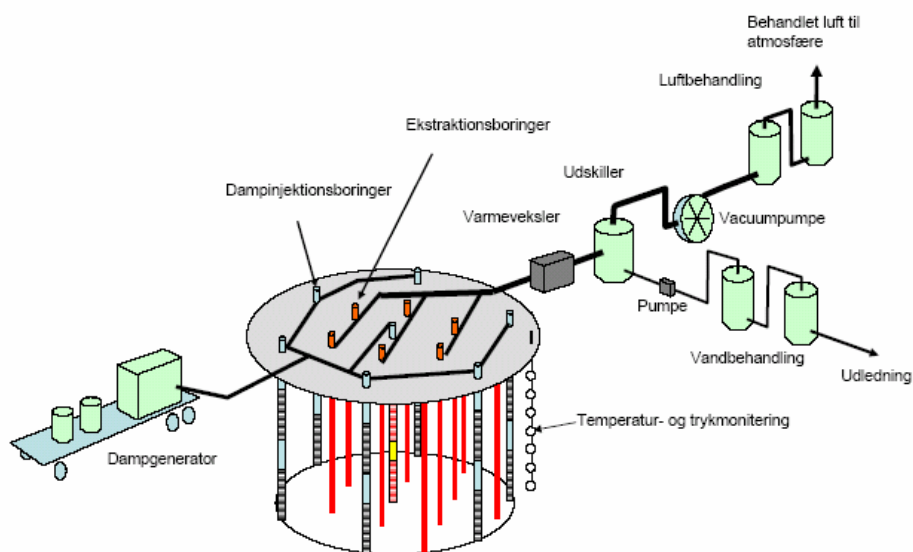
2.2.1 Dampstripping

Oprensningsmetoden dampstripping er udviklet i USA og anvendes ved oprensning af blandt andet chlorerede opløsningsmidler, olieprodukter og kreosot i sandede jordlag med indlejrede horisonter af silt og ler. Metoden er dokumenteret velegnet til oprensning af flygtige stoffer og visse mindre flygtige forureninger (kreosot og diesel).

Den hydrauliske ledningsevne af jordlagene, hvori dampen injiceres, skal være minimum ca. 10^{-3} cm/sek., svarende til en permeabilitet på 1 darcy, for at der kan opnås en tilstrækkelig injektion af damp, hvilket er en forudsætning for effektiv oprensning.

Ved dampstripping opvarmes jordlagene af den varme, som afgives, når damp kondenserer ved kontakt med kold jord/grundvand. Ved opstart af dampinjektionen opvarmes jordlagene umiddelbart omkring borerne gradvist til damptemperatur, hvorefter der udbredes en dampzone fra injektionsboringerne. Dampinjektionen indledes typisk fra en række borer i periferien af kildeområdet, således at der opnås en sammenhængende ring af damp omkring kildeområdet og herefter en mobilisering af forureningen mod den centrale del af kilden. I den centrale del af kildeområdet foretages ekstraktion af poreluft, grundvand og damp med henblik på at opnå en dampstrømning fortrinsvis ind mod kildeområdet samt for at opnå en opsamling af den mobiliserede forurening på gas- og væskeform.

Figur 2.1: : Principskitse af dampanlæg



Dampstripping kan dog også udføres fra borer placeret centralt i forureningen. I dette tilfælde udføres en cyklisk dampinjektion og grundvands-/poreluftekstraktion. For at undgå spredning af forureningen er det afgørende, at design og driftsstrategi tilrettelægges på en ganske bestemt måde.

Dampstrippingen fra periferien af det forurenede område foretages typisk med kontinuert injektion, til hele oprensningsområdet har nået damptemperatur efterfulgt af en periode med cyklisk drift. Ved cyklisk drift foretages en pludselig trykafastning i det opvarmede område, hvorved der kan opnås en forøget oprensningseffekt i grundvandszonen samt i lavpermeable jordlag, som ligger i/omkring dampzonen. Dette skyldes, at lagene opvarmes ved varmeledning ved det aktuelle tryk, og derefter trykafastes med kogning til følge. Denne kogning giver anledning til dampstripping og stoffjernelse i det lavpermeable lag. Ved oprensning i den umættede zone kan det i visse tilfælde være fordelagtigt at tilsætte atmosfærisk luft til den injicerede damp.

Ved dampinjektionen tilføres ilt med dampen og typisk også som led i vakuumentilationen til opsamling af damp, forurening og poreluft. Herved hæves redoxpotentialet i oprensningsområdet, og det er dokumenteret, at der i det varme, vandholdige, iltede miljø kan forekomme en kemisk oxidation (vådoxidation) af forureningskomponenter [Knauss et al., 1999].

Da damp er meget lettere end vand, kan der på grund af høj vertikal ledningsevne (anisotropi-faktor på mindre end 10:1) opstå problemer med opstigning af dampen, så de forurenede lag ikke opvarmes tilstrækkeligt [Udell, 1996]. Dette er specielt relevant, hvor DNAPL findes på bunden af de permeable lag (f.eks. som på Høfde 42 oven på det indskudte lerlag).

De væsentligste ulemper ved dampstripping er knyttet til opvarmning af bygninger, brugsvand, kloakledninger mv. En teoretisk mulig ulempe ved dampstripping er risikoen for vertikal mobilisering af fri fase forurening som følge af ansamlinger heraf i kondensationsfronten. Dette har været genstand

for både teoretiske og praktiske undersøgelser. P.t. tyder intet på, at problemet eksisterer, men der forskes stadig intensivt i emnet.

Dampstripping har været anvendt på 4 lokaliteter i Danmark og er dokumenteret at være en meget effektiv metode, såfremt design og drift tilrettelægges hensigtsmæssigt. De 4 lokaliteter er hhv. Brüel og Kjær-grunden [Miljøstyrelsen, 2000], Østerbro, Ålborg [Miljøstyrelsen, 2003a], Vesterbro, Odense [Miljøstyrelsen, 2003b] og Hedehusene [Miljøstyrelsen, 2004]. Pt. er der en dampoprensning i gang herhjemme (Clip Rens i Sønderjyllands Amt: Designet i samarbejde mellem Orbicon, NIRAS og TerraTherm).

2.2.2 Termisk ledningsevne (ISTD)

Termisk ledningsevne som oprensningsmetode er udviklet i USA og i første omgang tiltænkt oprensning af stoffer med høje kogepunkter, som PCB, creosot og tjære, der ikke - eller kun meget vanskeligt - kan oprenses med andre in situ metoder. Teknikken er dog siden tilpasset oprensning af mere flygtige stoffer som chlorerede opløsningsmidler og benzin, hvor der renses ved 100 °C uden udtørring af jorden. Metoden er dokumenteret effektiv til oprensning af næsten alle organiske stoffer med et kogepunkt under 500 °C. Disse stoffer inkluderer:

- Alle flygtige klorerede og bromholdige stoffer.
- Olier fra benzin til tung motorolie.
- Tjære.
- Kreosot og andre træ-imprægneringsmidler.
- PAH forbindelser (benz(a)pyren etc.)
- PCB.
- Pesticider.
- Dioxiner og furaner.

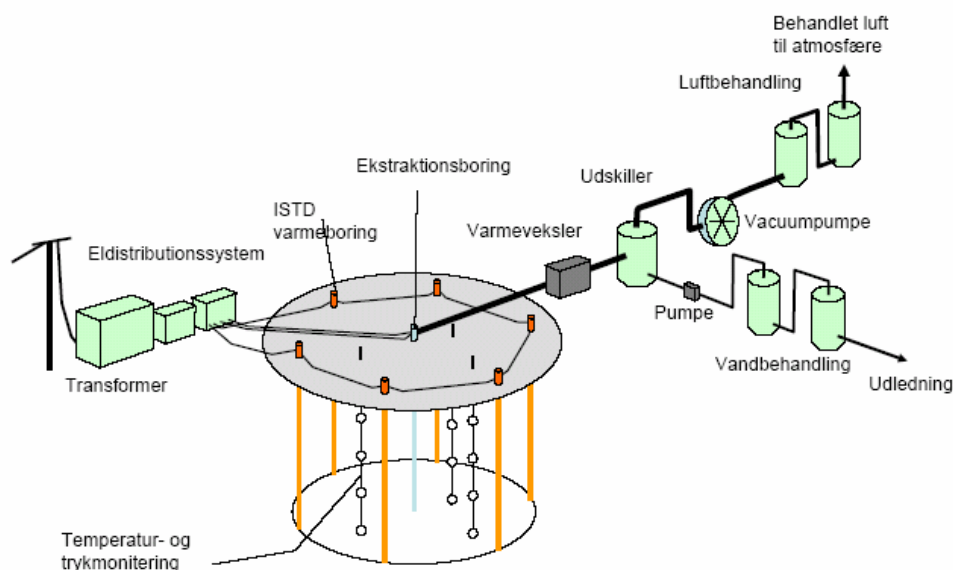
TerraTherm har veldokumenterede oprensningsresultater og/eller laboratoriedata for disse stofgrupper, og en del andre kemikalier. Specielt bør nævnes, at TerraTherm's samarbejde med University of Texas at Austin fokuserer på termisk oprensning af kviksølv.

Ved oprensning med termisk ledningsevne placeres filtersatte boringer (stål) udstyret med varmelegemer i det forurenede område. Varmelegemerne opvarmes til 300 - 700 °C, hvorved de omkringliggende jordlag opvarmes som følge af varmeledning. Afhængig af opvarmningstiden og afstanden til varmelegemerne kan der i praksis opnås jordtemperaturer på op til ca. 400 °C. I de fleste oprensninger er det dog ikke nødvendigt at foretage en opvarmning til højere temperaturer end porevandets kogepunkt. Ved opvarmningen mobiliseres forureningskomponenterne som fri fase, som opløst stof eller på gasfase og fjernes ved vakuumelekstraktion eller oppumpning fra boringerne med varmelegemerne samt supplerende vakuum- eller grundvandsboringer. En stor del af forureningskomponenterne vil oxideres i de meget varme områder umiddelbart omkring og i boringerne. Der vil dog være behov for køling af den ekstraherede gasfase, udskilning af kondensat samt rensning af poreluft og kondensat.

Varmelegemerne installeres typisk i metal-boringer placeret både udenom og inde i det forurenede område i et triangulært mønster. Dette mønster optime-

res for hver grund, så optimal opvarmning kombineres med tilstrækkelig ekstraktion af vand, kemikalier og dampe.

Figur 2.2: Principskitse af ISTD anlæg



Da den termiske ledningsevne – i modsætning til den hydrauliske ledningsevne – ikke varierer væsentligt mellem sand, silt og ler, vil opvarmningen ved termisk ledningsevne foregå forholdsvis jævnt over oprensningsdybden. Da opvarmningen ved varmeledning desuden foregår forholdsvis langsomt, er varmeudbredelsen nem at styre, så uønsket opvarmning af installationer mv. kan undgås.

Den pneumatiske ledningsevne i de opvarmede og delvist udtørrede jordlag vil være markant højere end i de omkringliggende, mere vandfyldte områder. Herved sikres en hurtig fjernelse af forurening på gasfase, hvorved risikoen for utilsigtet spredning af forureningen fra oprensningsområdet minimeres.

Metodens største ulempe er, at jordlag med kraftig grundvands-strømning kan være vanskelige at opvarme pga. vandets kølende effekt. Metoden kan således ikke anvendes på steder, hvor der er stor tilstrømning af grundvand til det opvarmede område, idet kogning af dette vand vil være bekosteligt og nedsætte energitilførslen til de omkringliggende jordlag. Endelig kan de høje arbejds-temperaturer medføre en risiko for sætninger samt behov for sikring af udstyr, sikring mod opvarmning af bygninger/ledninger mv.

Termisk ledningsevne har været forsøgt anvendt ved én oprensning i Danmark (Alsønderup, Frederiksborg Amt udført af Hedeselskabet). Oprensningen blev dog ikke foretaget med state-of-the-art viden og udstyr (de amerikanske eksperter blev ikke involveret) og projektet blev standset efter udstyrsnedbrud kort efter start af fuldskalaoprensningen. Til sammenligning har TerraTherm udført 14 oprensninger i felt-skala, inklusive 4 projekter, som er fuldført med succes alene i 2005. Varmelegemerne og det elektriske udstyr har vist sig meget pålideligt – typisk er systemerne online mere en 99 % af tiden under en oprensning.

2.2.3 Elektrisk opvarmning

Ved elektrisk opvarmning etableres der et hexagonalt netværk af elektroder i oprensingsområdet. Herefter tilføres en vekselspænding, som er faseforskudt enten 60 grader (6-phase heating) eller 120 grader (3-phase heating) mellem de enkelte elektroder, hvorved der mellem alle par af elektroder løber en elektrisk strøm. Som følge af jordlagenes ohm-ske modstand afsættes energi i jorden som varme.

Metoden er dokumenteret velegnet til oprensning af flygtige stoffer såsom TCE, PCE, og letflygtige olier.

Da de forskellige jordtyper har væsentligt forskellig elektrisk ledningsevne, opnås en præferentiel opvarmning af lerlag/lerede sedimenter og væsentligt mindre effektiv opvarmning af sandlag. Porevands kogepunkt (100 – 110 °C) udgør den øvre grænse for opvarmningen, da udtørringen ved kogning af porevandet dramatisk nedsætter jordens elektriske ledningsevne. Fra ekstraktionsboringer oppumpes de mobiliserede forureningskomponenter.

Metoden kan ikke anvendes på steder, hvor der er stor tilstrømning af grundvand til det opvarmede område, idet kogning af dette vand vil være bekosteligt og nedsætte energitilførslen til de omkringliggende jordlag.

Da opvarmningen afhænger af jordlagenes elektriske ledningsevne, er elektrisk opvarmning begrænset egnet for saltholdige grundvandsmagasiner. Hvor den elektriske ledningsevne er høj (eksempelvis grundet højt indhold af chlorid, natrium, og sulfat), kræves en strømforsyning med stor spænding. I praksis har dette hidtil betydet, at kystnære grunde med saltvandsindstrømning ikke er oprenset med elektrisk opvarmning.

Grundet det specialiserede udstyr til levering af strøm på enten 3 eller 6 faser, er elektrisk opvarmning ikke velegnet til store grunde. I USA bruges elektrisk opvarmning typisk på grunde på mindre end 10,000 m³.

Andre ulemper ved elektrisk opvarmning er den begrænsede opvarmningsmulighed (til kogepunktet for porevæsken) samt væsentlige sikkerhedsaspekter forbundet med påføring af spænding og store effekter til installationer i jorden.

Elektrisk opvarmning er ikke afprøvet herhjemme.

2.2.4 Injektion og cirkulation af varmt vand

Et forurenede område kan opvarmes ved injektion af vand, som opvarmes og pumpes ind gennem borer. Denne metode er generelt mindre effektiv end både dampinjektion, termisk ledningsevne og elektrisk opvarmning, men har den umiddelbare fordel, at den kan udføres relativt billigt for store grunde.

Metodens største ulempe er, at der skal cirkuleres meget store vandmængder for at opvarme området. Hvis det er tilladeligt at re-injicere oppumpet vand, kan det forurenede område opvarmes langsomt ved at etablere et cirkulationssystem, hvor en varmeveksler eller dampmaskine tilfører varme til vandet inden nedpumpning. Et rensningsanlæg skal derfor kun håndtere nettomængden af vand, som fjernes (ekstraktionsmængden minus injektionsmængden). Endvidere forudsætter metoden, at den hydrauliske ledningsevne i det forurenede sediment er god.

På baggrund af TerraTherms erfaringer vurderes det, at der i praksis kan opnås temperaturer på cirka 80 °C i formationen. Vandet injiceres ved en temperatur omkring 100 °C. Da forureningsstofferne har høje damptryk ved de opnåede temperaturer, bør en oprensning ved injektion og cirkulation af varmt vand kombineres med vakuumventilation for at undgå lugtgener og for at opfange afdampede kemikalier.

Mange af kemikalierne i depotet er reaktive ved temperaturer omkring 80 °C og kan nedbrydes ved længere tids ophold i varmt miljø. Det er dog uklart, hvor stor rensningseffekt dette vil medføre. Cheminova har igennem mange år forbehandlet dele af virksomhedens spildevand ved opvarmning og tilsætning af lud (basisk kogning), inden spildevandet ledes videre til det biologiske rensningsanlæg [Jessen, 2006].

Da en hyppigt anvendt metode til forrensning af spildevand på Cheminova er basisk kogning, er det muligt, at en behandling af det oppumpede vand uden nedkøling kan være tilstrækkelig. Det forventes dog, at efterbehandling med aktivt kul kræver afkøling af vandet.

Injektion og cirkulation af varmt vand kan således være en potentiel oprensningsmetode ved Høfde 42. Metoden kan muligvis vise sig at være væsentligt billigere end de øvrige termiske metoder, hvis en temperatur i formationen på kun ca. 80 °C evt. kan medføre en væsentlig massereduktion.

Varmt vand som oprensningsmetode har ikke været anvendt i Danmark.

2.3 Anvendelse af termiske metoder til oprensning af stoffer i jord svarende til forureningen på Høfde 42

2.3.1 In-situ termiske metoder

Ved litteraturstudiet er der lokaliseret 3 in-situ termiske projekter, som har interesse i forbindelse med en eventuel termisk assisteret oprensning ved Høfde 42. De 3 projekter er præsenteret i det følgende ved korte sagsresuméer og omhandler alle oprensning af pesticider i jord ved brug af termiske metoder.

In-Situ Thermal Desorption (ISTD) ved Rocky Mountain Arsenal, Commerce City, Colorado

I 2001 gennemførte TerraTherm treatability forsøg samt et felt-demonstrationsprojekt på U.S. Department of Army's Rocky Mountain Arsenal. I jorden på lokaliteten er der bl.a. påvist tjæreaffald forurenet med hexachlor-cyclopentadien (hex) og organo-chlorerede pesticider som dieldrin og endrin.

Lokaliteten har i årrækken omkring 2. verdenskrig været benyttet til produktion af kemisk krigsmateriel, mens der i årene efter krigen er produceret industrielle og landbrugsmæssige kemikalier. Over en periode på 30 år blev området endvidere benyttet til produktion af pesticider. Endvidere er der på en del af området deponeret destillationsrester fra produktionen af hexachlor-cyclopentadien, som benyttes i produktionen af pesticider.

Indledende treatability forsøg på jord fra deponiet viste, at ISTD effektivt kan fjerne og/eller nedbryde mere end 99 procent af projektets fokusstoffer (Contaminants Of Concern). Anlægget blev efterfølgende designet til at kunne

opnå en jordtemperatur i oprensningsvolumenet på minimum 325 °C, som jf. gennemførte beregninger var tilstrækkeligt til at opnå de opstillede mål for oprensningen. Det blev forud for projektets gennemførelse vurderet, at jordens naturlige indhold af kalk ville være tilstrækkelig til neutralisering af den saltsyre, som ville blive dannet ved in-situ destruktion af chlorerede forbindelser under oprensningen.

Opvarmningen af oprensningsområdet blev igangsat. Efter få ugers opvarmning kunne det imidlertid konstateres, at afværgeanlæggets rørsystemer i visse områder var svært angrebet af korrosion som følge af syrepåvirkning. Oprensningen blev efterfølgende indstillet, og senere undersøgelser konkluderede, at syre-korrosionen af underjordiske installationer var omfattende.

Der blev efterfølgende gennemført en undersøgelse for at klarlægge årsagen til korrosionen. Ved undersøgelsen blev nedenstående mulige forhold til korrosionen identificeret:

- Dannelse af saltsyre i borer. Under etablering af borer blev der påvist tydelige linser af tjærelignende forureningsprodukter. En tese er, at forureningen i disse linser i den indledende opvarmningsfase grundet ændringer i viskositeten er blevet flydende og er strømmet til ekstraktionsboringer, inden in-situ destruktion i jorden er sket. I ekstraktionsboringerne er forureningen nedbrudt, hvorved der er dannet saltsyre, som er suget op gennem borerne.
- Mangel på tilstrækkelig in-situ neutralisation. Jordens indhold af calcium og jern burde have været tilstrækkelig til neutralisation af den dannede saltsyre. Forureningen er strømmet til borerne af foretrukne "motorveje" i jordmatricen og er derfor ikke kommet i tilstrækkelig kontakt med jordens indhold af calcium og jern til, at neutralisationen har kunnet foregå som forventet.
- Omgivende temperaturer. TerraTherm's operatører iagttog kondensation i det uisolerede rørsystem fra borer til behandlingssystemet for vand og luft. Perioden, hvor afværgeanlægget kørte, var langt koldere end normalt, hvilket sandsynligvis var grunden til kondensationen. Saltsyre på væskeform er meget mere korrosivt end saltsyre på luftfasen.

TerraTherm har med succes implementeret erfaringer fra ovenstående projekt i efterfølgende projekter [Todd et al., 2004].

Radio-frekvens opvarmning ved Rocky Mountain Arsenal, Commerce City, Colorado

Radio-frekvens opvarmning er anvendt i et pilotforsøg til oprensning af pesticidforurenede jord, ligeledes på Rocky Mountain Arsenalet. Radio-frekvens teknologien benytter elektromagnetisk energi i radio-frekvensbåndet til opvarmning af jorden. Pesticiderne oprenset ved pilotforsøget var bl.a. aldrin, dieldrin, endrin og isodrin. Laboratorieforsøg forud for pilot-projektet viste, at opvarmning af jorden til 250 °C imellem 2 til 5 dage medførte en fjernelsesrate af organo-chlorerede pesticider på mere end 99 %.

I pilottesten blev jorden opvarmet til mellem 100 og 350 °C, afhængig af afstanden til elektroderne. Fjernelseseffektiviteten var faldende, med faldende jordtemperaturer, og fjernelsesprocenter mellem 97-99,9 % blev opnået for organo-chlorid pesticider i områder med temperaturer over 200 °C [Kousta og Fischer, 1998].

ISTD på ELCLOR-lossepladsen i Sao Paulo, Brasilien

TerraTherm er i øjeblikket i den indledende fase i projekteringen af en termisk oprensning af en omfattende forurening på ELCLOR-lossepladsen i Sao Paulo, Brasilien. Grunden er bl.a. forurennet med toksiske kemikalier med høje kogepunkter, methylchlorid i koncentrationer på op til 145.000 mg/kg, mono-chlorbenzener, chlorerede opløsningsmidler i intervallet fra C_4 - C_{10} samt alifatisk kulbrinter i intervallet fra C_{14} til C_{22} . I oprensningsområdet er pH mellem 3,4 og 9,5. Projektgruppen bag oprensning på ELCLOR-lossepladsen har afsluttet treatability forsøg, og den videre dimensionering er planlagt for 2007 [Heron, 2006]. Forsøgene viste fuldstændig fjernelse ved højeste opnåede temperatur og en meget væsentlig reduktion i koncentrationerne ved 100 °C. Et pilotforsøg, hvor der varmes først til 100 °C og dernæst til 250 °C, er planlagt. Dette giver mulighed for at udtage jordprøver behandlet i forskellig grad som basis for at vælge optimal fuldskala-temperatur.

ISTD Projekter for lignende stoffer

ISTD projekter med termisk oprensning af ikke-flygtige stoffer som dioxin, benz(a)pyren, PCB og blandede tjæreforureninger har vist, at disse stoffer fjernes ved temperaturer på 325°C. TerraTherm har udført 7 felt-skala oprensninger i skala fra pilot til fuldskala behandling, og alle har opnået mindst 99 % fjernelse af stofferne [Sheldon et al., 1996; Vinegar et al., 1997; Conley og Jenkins, 1998; Hansen et al., 1998; Conley et al, 2000; Baker og Heron, 2004; Bierschenk et al., 2004].

Disse erfaringer viser, at der er meget høj sandsynlighed for fjernelse af alle de organiske stoffer, hvis jorden kan tørres og opvarmes til 200-350°C in-situ.

2.3.2 Ex-situ termiske metoder og treatability forsøg

Ved litteraturstudiet er der lokaliseret i alt 7 projekter, hvor pesticider er oprenset fra jord med termiske oprensningsmetoder. Artiklerne omhandler dels ex-situ fuld-skala on-site oprensninger samt treatability forsøg udført på jord fra pesticidforurenede grunde. De 7 projekter er præsenteret ved korte sagsresuméer i det følgende.

Superophedet vand

På University of North Dakota er der gennemført laboratorieforsøg med superophedet vand til oprensning af pesticidforurennet jord. Superophedet vand er vand over 100 °C under overtryk, således at vandfasen bibeholdes. Oprensede pesticider var trifluralin, atrazin, alachlor, metolachlor, cyanazin og pendimethalin.

Jordprøver blev oprenset med superophedet vand med temperaturer op til 250 °C ved et overtryk på op til 50 bar. Ved en behandlingstid på 15 minutter ved 250 °C var fjernelsesprocenten >99 %. Gennemførte forsøg ved 100 °C reducerede indholdet af de mere vandopløselige pesticider til ca. 50 % i løbet af 15 minutter [Lagadec et al., 2000].

Denne metode er ikke yderligere beskrevet, da det ikke er muligt at bruge superophedet vand in-situ, medmindre der opvarmes i stor dybde under højt tryk.

Superophedet damp

Focus Environmental Inc., Knoxville, Tennessee gennemførte i 1996 en række treatability forsøg med oprensning af pesticidforurennet jord, herunder organo-chlorerede pesticider. Ved oprensningen blev overophedet damp med

temperaturer mellem 260 og 427 °C, (afhængig af hvilke komponenter, der skulle oprensnes), tilført en reaktor med forurenede jord. Herved kom de forurenede komponenter i jorden over på gasfasen, som efterfølgende blev behandlet i et luftbehandlingsanlæg. Metoden viste gode oprensningseffektiviteter for pesticider [Holcomb et al., 1998].

Da det ikke er praktisk at anvende superophedet damp in-situ, fordi dampen køles hurtigt af jordmatricen, er denne metode ikke beskrevet yderligere.

Termisk desorption

Kouostas og Fischer, 1998 anbefaler en række pesticider til oprensning ved termisk desorption, heriblandt parathion. Ved termisk desorption bliver jorden fysisk afgravet i det forurenede område og efterfølgende opvarmet i en enhed til mellem 95 og 540 °C [Kouostas og Fischer, 1998].

Termisk desorption blev benyttet ved en fuld-skala oprensning på en lokalitet i Arizona, som har været benyttet i forbindelse med opbevaring og opblanding af en række pesticider, heriblandt toxaphene, DDT, DDD og DDE. Ved oprensningen blev pesticidindholdet i jorden reduceret med mere end 99 % [Kouostas og Fischer, 1998].

Termisk desorption er ligeledes benyttet til oprensning af pesticidforurenede jord på en grund tilhørende U.S. Department of Agriculture beliggende i den sydlige del af Texas. Jorden blev opvarmet til ca. 230 °C, og de opstillede oprensningsmål blev nået. Det benyttede termiske anlæg kunne dog ikke anvendes til oprensning af organo-fosfat pesticider uden at lave væsentlige ændringer ved anlægget [Hodges, 1995].

Hannah et al., 1997 har både gennemført treatability forsøg samt pilot forsøg med termisk desorption. Pesticidforurenede jord, bl.a. indeholdende dioxiner og organo-chlorerede pesticider, blev opvarmet til mellem 350 og 450 °C i en varmerekator, mens luften fra anlægget blev neutraliseret og efterfølgende renses ved aktiv kul filtrering. Oprensningsprocenten var større end 97 % [Hannah et al., 1997].

I forbindelse med oprensning af en forurenede grund i Fort Valley, Georgia, blev gennemført treatability forsøg til vurdering af anvendeligheden af termisk desorption på lokaliteten. På grunden var der bl.a. produceret og håndteret organiske og uorganiske insekticider og herbicider. Jorden blev behandlet ved hhv. 340 og 400 °C, ved gennemblæsning med varm luft i 12 minutter. Behandlingen medførte oprensningseprocenter bedre end 97 % for pesticiderne. Det blev konkluderet, at jorden blev tilstrækkeligt ren ved opvarmning til 340 °C [Halloran et al., 1993].

Termisk oprensning af kviksølv

På University of Texas er der gennemført treatability forsøg med oprensning af frit kviksølv fra forurenede jord ved brug af ISTD-metoden. Laboratorieforsøgene viste, at ca. 99,9 % af det frie kviksølv blev fjernet fra jorden ved en temperatur på 250 °C. Oprensningen er således foretaget langt under kviksølvs kogepunkt, som er 356,5 °C. Ved laboratorieforsøgene er udelukkende oprensningen for frit kviksølv undersøgt, og der foreligger således ikke oprensningsresultater for kviksølv bundet på andre former [Kunkel et al., 2004].

Kucharski et al., 2004 har ligeledes gennemført laboratorieforsøg for at undersøge oprensningseffekten for kviksølv ved termisk behandling. Kviksølvforu-

renet jord blev opvarmet til 100 °C, hvorefter kviksølvdampe blev fjernet i luftfasen. Efter 10 dages opvarmning var indholdet af de mest toksiske og mobile former af kviksølv (vandopløseligt, ionbundet og frit kviksølv) mindre end detektionsgrænsen. Den totale mængde af kviksølv var mindsket med 32 % [Kucharski et al., 2005].

Evans et al., 1995 beskriver ligeledes termisk oprensning af kviksølvsforurenede jord. Oprensningen foregik ex-situ ved tilsætning af et navnebeskyttet additiv til kviksølvsforurenede jord. Jord og additiv blev opvarmet (opvarmningstemperatur ikke angivet), mens afdampede gasser blev behandlet i et luftbehandlingsanlæg. Den termiske behandling viste kviksølvfjernelse på 99,99 % for både sandede og lerede jorde [Evans et al., 1995].

2.3.3 Erfaringer fra Cheminova

Cheminova A/S har i mere end 25 år drevet en række afværgeprojekter, som er baseret på oppumpning af forurenede grundvand. Cheminova A/S har således meget omfattende erfaringer med praktisk håndtering af såvel forurenede jord og grundvand som behandling af stærkt forurenede grundvand. Det følgende afsnit beskriver nogle af disse erfaringer, og afsnittet er bl.a. baseret på interview med en nu pensioneret medarbejder på Cheminova, som igennem en lang årrække har været dybt involveret i driften af afværgeforanstaltningerne [Jessen, 2006].

Behandling af P2-remanens

Fra omkring 1970 var der behov for at få afgiftet spildevandet i forhold til den meget giftige remanens fra det såkaldte P2-anlæg. Remanensen bestod primært af triestre, P2-syre samt et betydeligt indhold af det meget giftige ethylsulfotep. På grund af indholdet af ethylsulfotep var det nødvendigt at behandle vandet separat inden udledning til Vesterhavet sammen med virksomhedens øvrige spildevand.

Behandlingsanlægget var opbygget af henholdsvis rustfrit stål og PEL/PVC. De dele af anlægget, som blev opvarmet, bestod af rustfrit stål, mens de "kolde" rørarrangementer bestod af PEL/PVC.

Remanensen blev indledningsvist tilsat 50 % NaOH til pH var hævet til op over den gængse skala (altså >14). Derefter blev remanensen varmet op til en temperatur på ca. 120 °C med en efterfølgende opholdstid på ca. 3-4 timer.

Behandlingen udviklede en voldsom lugt, og gassen blev derfor brændt af.

Behandling i Koger Øst

Jord- og grundvandsforureningerne ved henholdsvis "Svovlgruberne" beliggende på den østlige del af Rønland og "Gl. Fabriksgrund" beliggende syd for Rønland er karakteriseret ved tilstedeværelsen af mange af de samme kemiske stoffer, som forekommer i forureningen ved Høfde 42. Der forekommer således såvel fri organisk fase bestående af parathion, methylparathion, malathion og ethylsulfotep som kviksølv på alle tre lokaliteter.

Det meget forurenede grundvand fra bl.a. "Svovlgruberne" blev i de første mange år behandlet i den såkaldte "Koger Øst". Grundvandet blev pumpet op via afværgebrøn og -boringer, hvorefter det blev ledt til Koger Øst. Behandlingsanlægget var opbygget således:

- Fri fase udskiller
- En 45-50 m³ ståltank (med ca. 0,5 m gasfase foroven)
- Pladevarmeveksler af rustfrit stål

Grundvandet blev løbende pumpet til ståltanken, men inden det blev ledt til selve tanken, passerede vandet en pladevarmeveksler. I ståltanken blev der injiceret damp, som sikrede såvel den ønskede opblanding som en jævn varmefordeling. Temperaturen i tanken blev holdt på ca. 80-90 °C og vandets pH blev hævet til 10-11 (tilsætning af 50 % NaOH opløsning).

Efter opvarmning og pH reguleringen passerede vandet den nævnte varmeveksler (pladevarmeveksler), inden det blev ledt videre til spildevandsbehandling i det biologiske anlæg. Der blev behandlet ca. 12-15 m³ i timen og opholdstiden i tanken var ca. 2-3 timer.

Der blev afgasset fra tanken og gassen blev sendt til afbrænding på luftforbrændingsanlægget.

Selve tanken var fremstillet af almindeligt jern, mens pladevarmeveksleren var fremstillet af rustfrit stål. (Forholdene omkring pladevarmeveksleren var mere aggressive end i selve ståltanken, da der var meget "surt" grundvand på den ene side og meget basisk grundvand på den anden side). Rørrangementer var enten opbygget af almindeligt jern eller PEL/PVC.

Den daglige drift bestod af aflæsninger af flowmeter, hvorefter tilsætning af NaOH blev reguleret. Desuden blev pH målt i afløbsvandet hver 4. time og NaOH doseringen justeret, alt efter målingen.

Da Koger Øst blev taget i brug, lå pH på 1-2 i det oppumpede grundvand inden behandling. I denne periode blev pH således hævet fra pH-værdier på 1-2 til pH-værdier på 10-11. Det var ifølge [Jessen, 2006] ikke nødvendigt at "bruge specielt meget NaOH" for at hæve pH til 10-11, men det vides ikke, hvor meget NaOH der blev anvendt per dag eller m³ behandlet grundvand.

Cheminova prøvede også at anvende kalk (læsket kalk), men der opstod problemer med udfældninger og lav virkningsgrad.

Forbehandling af spildevand i dag

Cheminovas spildevand, der aktuelt ledes til det biologiske rensningsanlæg, samles i et blandeforlag (A-bunkeren), hvor pH hæves til 12-12,5 ved tilsætning af henholdsvis læsket kalk og lud (NaOH). Mængdemæssigt tilsætter Cheminova mest læsket kalk, da virksomheden har brug for at udfælde fosfor og svovl, inden spildevandet udledes til Vesterhavet. I praksis kan tilsætning af læsket kalk alene hæve pH til 12-12,5. [Sørensen, 2006 b]

Fra A-bunkeren ledes vandet til et af tre udligningsbassiner (tank som fyldes op, vente/behandlingstank som kontrolleres for stofkoncentrationer samt en tømningstank, hvor spildevandet pumpes til biologisk rensning). De tre tanke kører i rotation, dvs. at et øjebliksbillede kan være, at tank 1 fyldes op, tank 2 venter, og tank 3 tømmes osv.

Ifølge [Sørensen, 2006 b] foregår der en del reaktioner i spildevandet, mens det holdes i udligningstanken. I forbindelse med ophold i udligningstanken tilsætter Cheminova yderligere base med henblik på at fastholde den høje pH-værdi.

Det er ikke umiddelbart muligt at vurdere, hvor stor en nedbrydning af færdigvarer der foregår i udligningstanken, da Cheminova rutinemæssigt primært kontrollerer for indhold af færdigvarer i spildevandet, inden det ledes til biologisk rensning. Det skal dog nævnes, at der generelt ikke forekommer færdigvarer i spildevandet over detektionsgrænsen. Når der en sjælden gang kan forekomme f.eks. MP3 eller malathion i vandet, nedbrydes stofferne i løbet af nogle timer i udligningstanken.

2.4 Oprensningsprocesser og effektivitet for de aktuelle stoffer som funktion af temperatur

2.4.1 Mobilisering af forurening ved stigende temperaturer

Generelt udnytter termisk assisterede oprensningsmetoder, at en række parametre af betydning for mange forureningskomponenters mobilitet i jordmiljøet er temperaturafhængige. Ved opvarmning af forurenede jord og grundvand og samtidig opsamling af fri fase, grundvandsoppumpning og/eller vakuumentilation kan der således opnås en meget effektiv mobilisering og fjernelse af en lang række forureningskomponenter.

De termiske teknikker er baseret på en række mekanismer, som optræder, når temperaturen i det forurenede kildeområde hæves markant. En række af disse mekanismer er opført i tabel 2.2. Det skal bemærkes, at ikke nødvendigvis alle mekanismer er relevante i alle termiske oprensninger, ligesom enkelte mekanismer er mest udprægede ved temperaturer over 100 °C.

Tabel 2.2: Oprensningsmekanismer ved øgningen af temperaturen i et forurenede område [NIRAS og TerraTherm, 2005; Baker og Kuhlman, 2002].

Ændring ved stigende temperatur	Oprensningsmekanisme
Forøgelse af damptryk	Øget flygtighed af fri fase
Forøgelse af Henrys konstant	Øget flygtighed af opløst forurening
Reduktion af sorption	Øget mulighed for udvaskning af forurening
Reduktion af viskositeten af grundvand og fri fase	Forøget mobilitet af fri fase
Reduktion af overfladespændingen mellem vand og fri fase	Forøget mobilitet af fri fase
Kogning på skilleflade mellem vand og fri fase ved temperaturer under 100 °C (Joule-Thomson effekten)	Potentiel fjernelse af fri fase under kogning af store mængder porevand
Dannelse af gasfase (damp) i formationen	Dannelse af effektivt mobilt medium til fjernelse af mobiliserede forureningskomponenter
Reduktion af jordens vandindhold ved kogning	Forøget ventilation i finkornede jordlag
Kogning af VOC og SVOC'ere (1)	Forøget flygtighed af forureningskomponenter. For SVOC'ere sker kogning typisk ved temperaturer over 100 °C.
Nedbrydning ved temperaturer nær 100 °C og samtidig tilstedeværelse af vand	Hydrolyse (vådoxidation)
Nedbrydning ved tilstedeværelse af ilt	Oxidation (især ved temperaturer over 100 °C)
Nedbrydning pga. varmepåvirkning	Pyrolyse (især ved temperaturer over 100 °C)

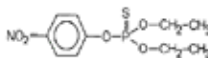
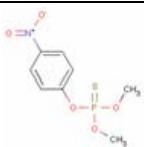

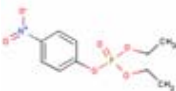
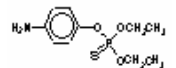
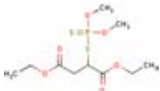

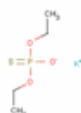
(1) VOC (Volatile Organic Compounds) og SVOC (Semi Volatile Organic Compounds).

2.4.2 Udvalgte fokusstoffer

Den påviste forurening ved Høfde 42 er bestående af mindst 100 forskellige stoffer. I forbindelse med risikovurdering af forureningens påvirkning af vandkvaliteten i Vesterhavet har Ringkjøbing Amt udpeget en række fokusstoffer, som samlet set vurderes at repræsentere de mest problematiske stoffer.

Disse fokusstoffer, som i det følgende er kaldet Contaminants Of Concern eller blot COC, er udvalgt på baggrund af stoffernes toksiske egenskaber, persistens og mobilitet samt forventede mængder af stofferne i høfdedepotet. Projektets COC'ere er præsenteret i tabel 2.3 sammen med CAS-numre, kemisk struktur samt forventet mængde i depotet ved Høfde 42.

Tabel 2.3 Projektets Contaminants Of Concern (COC'ere) med angivelse af CAS-numre, struktur og forventet mængde ved Høfde 42.

Stof	CAS nummer	Struktur	Samlet mængde
Parathion	56-38-2		170 ton
Methyl-parathion	298-00-0		53 ton
Ethyl-sulfotep (sulfo- tep)	3689-24-5		6 ton
Paraoxon	311-45-5		
Ethyl-amino- parathion	3735-01-0		3,5 ton
Malathion (Fyfanon)	121-75-5		18 ton
Kviksølv	7439-97-6	Hg	1,7 ton
EP1 (O,O-diethyl- dithiophosphate)	298-06-6		*
EP2-syre	5871-17-0		*

* Den samlede forureningsmasse er ikke beregnet for EP1 og EP2-syre.

For de udvalgte COC'ere er kemiske nøgleparametre, som det har været muligt at finde i den behandlede litteratur, samlet i bilag B. Det har været vanskeligt at fremskaffe oplysninger om temperaturafhængigheden af nøgleparametrene.

Det skal bemærkes, at det for enkelte af projektets COC'ere ikke har været muligt at fremskaffe oplysninger om de i bilaget nævnte nøgleparametre. Cheminova er i forbindelse med indsamlingen af de kemiske parametre kontaktet, men ligger ikke inde med supplerende oplysninger om de manglende parametre [Breinbjerg, 2006].

I øvrigt skal det bemærkes, at det er COC'erne parathion, methyl-parathion og malathion, som udgør langt størstedelen af massen i depotet, der dog er velbeskrevet.

Kogepunktet for størstedelen af projektets COC'ere er angivet ved undertryk. Dette skyldes, at stofferne er tilbøjelige til at omdannes, bl.a. ved pyrolyse, inden de når kogepunktstemperaturen [Mabey, 2006]. For damptrykket, hvor det har været muligt at finde værdier ved flere forskellige temperaturer, ses generelt en stigning med stigende temperaturer, hvilket er som forventet.

2.5 Hydrolysens afhængighed af temperaturen

I den fremskaffede litteratur har især oplysninger om hydrolysen af parathion, malathion, methyl-parathion og ethyl-sulfotep været fremtrædende.

Generelt gælder, at en stigning i temperaturen vil medføre et tilsvarende fald i hydrolysereaktionens halveringstid. Dette skyldes, at temperaturforøgelsen medfører en stigende kinetisk energi af molekylerne i opløsningen, og dermed en stigning af kollisionshyppigheden mellem vand- og pesticidmolekyler [Rottich et al., 2004].

Kemisk kan det forklares ved, at vands dissociationskonstant K_w er stærkt temperaturafhængig. Vands dissociationskonstant er givet ved [Chaplin, 2006]:

$$K_w = [H^+] \cdot [OH^-]$$

Således antager K_w en værdi på $0,112 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{l}^2$ ved $0 \text{ }^\circ\text{C}$, $0,991 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{l}^2$ ved $25 \text{ }^\circ\text{C}$ og $9,311 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{l}^2$ ved $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Dette medfører, at pH-spektret er givet i intervallet 0-15 ved $0 \text{ }^\circ\text{C}$, 0-14 ved $25 \text{ }^\circ\text{C}$ og 0-13 ved $60 \text{ }^\circ\text{C}$ [Chaplin, 2006]. Denne sammenhæng er ligeledes beskrevet i [Rayner-Canham, 1995].

I praktisk betyder dette, at der ved stigende temperaturer er flere frie ioner til stede i en vandig opløsning, som har mulighed for at deltage i hydrolysereaktioner med en deraf følgende højere hydrolysehastighed til følge.

Såfremt det forudsættes, at hydrolysen af et stof følger en 1. ordens Arrhenius nedbrydning, kan halveringstiden beregnes som funktion af temperaturen ved brug af formel 2.1:

$$T_{1/2}(T) = T_{1/2}(T_0) \cdot e^{\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (2.1)$$

Hvor

$T_{1/2}$: Halveringstid [dage]

T : Absolut temperatur [$^\circ\text{K}$]

E_a : Aktiveringsenergi for hydrolysereaktionen [J/mol]

R : Gaskonstanten [8.314 J/(mol K)]

Under de nævnte forudsætninger kan hydrolysehastigheden ved en hvilken som helst temperatur således beregnes ved kendskab til aktiveringsenergien E_a samt en halveringstid ved en given temperatur [Heron et al., 2005].

I det følgende er temperaturafhængigheden af ovennævnte stoffers hydrolysehastighed oplyst ved halveringstiden $T_{1/2}$, nærmere beskrevet. Beskrivelsen er

foretaget med udgangspunkt i bilag C, hvor litteraturværdier for $T_{1/2}$ som funktion af både temperatur og pH-værdi er opsummeret.

2.5.1 Parathion

Værdier for halveringstiden angivet i litteraturen for parathion er angivet i

Tabel 2.4 Halveringstid for parathion i en vandig opløsning som funktion af temperaturen ved fastholdt pH

pH [-]	Temperatur [°C]	Halveringstid, $T_{1/2}$ [dage]	Kilde
7,0	8	29,74	[Rotich et al., 2004]
7,0	25	2,96/3,03	[Rotich et al., 2004]
7,0	35	2,36	[Rotich et al., 2004]
7,0	45	1,91	[Rotich et al., 2004]
7,4	20	130	[Freed et al., 1979]
7,4	37,5	27	[Freed et al., 1979]

Som det fremgår, formindskes halveringstiden med ca. en faktor 15 ved hævnning af temperaturen fra 8 til 45 °C ved pH 7,0 [Rotich et al., 2004], mens halveringstiden formindskes med ca. en faktor 5 ved hævnning af temperaturen fra 20 til 37,5 °C ved pH 7,4 [Freed et al., 1979].

I [Freed et al., 1979] er aktiveringsenergien for hydrolysereaktionen for parathion i vand ved pH 7,4 angivet til $E_a = 16$ kcal/mol (svarende til 67 kJ/mol). Benyttes formel 4.1, kan den teoretiske hydrolysehastighed ved 100 °C beregnes til ca. 8,5 timer.

Parathion hydrolyserer meget langsomt ved pH 1-6 og hurtigere i alkaliske miljøer [Toxnet, 2006]. Dette stemmer godt overens med værdier af hydrolysehastigheden ved pH 1-5 og en temperatur på 20 °C på 690 dage, jf. oplysninger i [Aktor Innovation, 2004].

Der er endvidere præsenteret hydrolysehastigheder for parathion i fugtig lerjord på hhv. 180 og 110 dage ved udgangskoncentrationer på hhv. 1 ppm og 0,1 ppm. Disse forsøg er gennemført ved pH 6,2 ved 20 °C [Freed et al., 1979]. Disse værdier er de eneste værdier på hydrolysehastigheder i umættet jord, der er fundet ved det gennemførte litteraturstudie.

Freed et al. 1979 konkluderer endvidere, at i de jordmiljøer, hvor mikrobiel og kemisk nedbrydning generelt foregår langsomt, bliver stoffer, som ellers let hydrolyseres i vand, meget mere persistente, når deres reaktionsvillighed betragtes i jordmatricen.

2.5.2 Malathion

For malathion er der i litteraturen angivet værdier af halveringstiden som angivet. Halveringstiden er målt i en vandig opløsning, ved en udgangskoncentration af malathion svarende til ca. halvdelen af malathions vandopløselighed [Freed et al., 1979]. Forsøget er således udført ved en koncentration af malathion, svarende til kildestyrkekonzentrationen ved Høfde 42.

Tabel 2.5 Halveringstid for malathion i en vandig opløsning som funktion af temperaturen ved fastholdt pH.

pH [-]	Temperatur [°C]	Halveringstid, $T_{1/2}$ [dage]	Kilde
7,4	20	11	[Freed et al., 1979]
7,4	37,5	1,3	[Freed et al., 1979]

Som det fremgår, formindskes halveringstiden ca. med en faktor 8-9 ved hævnning af temperaturen, fra 20 til 37,5 °C.

I [Freed et al., 1979] er aktiveringsenergien for hydrolysereaktionen angivet til $E_a = 22$ kcal/mol (svarende til 99kJ/mol). Benyttes formel 2.1, kan den teoretiske hydrolysehastighed ved 37,5 °C beregnes til 1,38 dage, hvilket stemmer godt overens med den målte værdi på 1,3 dage. Hydrolysen kan således med tilnærmelse forudsættes at følge en 1. ordens Arrhenius nedbrydning.

Beregnes efterfølgende den teoretiske hydrolysehastighed for malathion ved 100 °C, fås en hydrolysehastighed på under 5 minutter i en vandig opløsning.

Malathion hydrolyserer ved pH>7,0 eller <5,0 og er stabil i vandig opløsning ved pH 5,26 (temperatur er ikke angivet) [Toxnet, 2006].

Der er i den fremskaffede litteratur ikke fundet hydrolysehastigheder for pH-værdier mindre end 6,1.

2.5.3 Methyl-parathion

Halveringstiden for methyl-parathion i destilleret vand er angivet i [Rotich et al., 2004]. Værdierne fremgår af

Tabel 2.6 Halveringstid for methyl-parathion i en vandig opløsning som funktion af temperaturen ved fastholdt pH

pH [-]	Temperatur [°C]	Halveringstid, $T_{1/2}$ [dage]	Kilde
7,0	8	68	[Rotich et al., 2004]
7,0	25	6,24/6,60	[Rotich et al., 2004]
7,0	35	2,70	[Rotich et al., 2004]
7,0	45	2,25	[Rotich et al., 2004]

Halveringstiden for methyl-parathion mindskes således med en faktor 30 ved en temperaturforøgelse fra 8 til 45 °C ved pH 7,4 [Rotich et al., 2004].

Det har ikke været muligt at finde litteraturværdier for aktiveringsenergien for hydrolysereaktionen for methyl-parathion, men det er sandsynligt, at halveringstiden vil mindskes yderligere i temperaturintervallet fra 45 til 100 C jf. oplysninger i [Rotich et al., 2004].

Methyl-parathion hydrolyserer villigt [Toxnet, 2006].

2.5.4 Ethyl-sulfotep

Det har ikke været muligt at finde litteraturværdier for hydrolysehastigheden af ethyl-sulfotep som funktion af temperaturen, men i [Cheminova, 1988] er

der angivet hydrolysetider på hhv. 2,5 timer og ca. 45 minutter i processpildvand fra Cheminovas produktion ved hhv. pH 11 og pH 12.

Hydrolysereaktionerne ved pH 13,3 er foregået så hurtigt, at det ikke har været muligt at bestemme halveringstiden. Forsøgene er udført ved 20 °C [Chemnova, 1988].

Ethyl-sulfotep hydrolyserer kun i basiske miljøer [Toxnet, 2006].

2.6 Potentiale for mobilisering af forurening og mellem- og slutprodukter samt kviksølv

2.6.1 Dannelse af toksiske og/eller persistente stoffer

Der forekommer mere end 100 forskellige kemiske stoffer i høfdedepotet, og forureningen må karakteriseres som værende meget kompleks. For de fosforbaserede insekticider, som forekommer i høfdedepotet, foreligger der viden om mulige nedbrydningsprodukter som følge af mikrobiel nedbrydning, hydrolyse, fotolyse og biologisk omdannelse. Som eksempel kan nævnes, at parathion kan omdannes til:

- Paranitrophenol og EP2-syre
- Aminoparathion
- Paraoxon

Overordnet er det således på baggrund af litteraturstudiet ikke muligt at forudsige præcist, hvilke kemiske stoffer der vil kunne forekomme som følge af de skitserede termisk assisterede behandlinger.

Desuden bør dannelse af dioxiner ved opvarmning diskuteres, da disse typisk dannes ved høje temperaturer ved afbrænding af klorholdige forbindelser. TerraTherm har monitoreret for dioxiner under ISTD oprensninger og hver gang fundet, at de ikke dannes under de aktuelle forhold.

De vigtigste processer under ISTD oprensning er præsenteret i [Baker and Kuhlman, 2002]. Dioxiner og furaner dannes i gas-fasen ved tilstedeværelse af partikler, vanddamp, klorid, og visse pre-cursere (udgangsstofer - stoffer som skal være til stede for at dannelsen sker, igangsættere). Dette sker typisk i forbrændingskamre eller i skorstene. I praksis er forholdene in-situ så meget anderledes, at dioxiner aldrig er påvist [Baker og LaChance, 2002].

Endvidere kan nævnes, at TerraTherm tidligere har behandlet jord forurenet med dioxin til meget lave slut-niveauer på en kreosot-forurenet grund i Californien [Bierschenk et al., 2004].

2.6.2 Uønsket mobilisering af forurening

En velbegrundet bekymring i forbindelse med brug af termiske metoder til oprensning af fri fase er, om øgningen i flygtighed og viskositet samt reduktion af overfladespændinger under opvarmningen kan medføre en utilsigtet spredning af forurening, forøget nedadrettet mobilisering eller gennembrud til uforurenede områder under opvarmningen.

Det har ikke været muligt at finde litteratur, som beskriver mobiliseringen af fri fase pesticidstoffer. Mobiliseringen af DNAPL er bl.a. beskrevet i [Heron et al., 1998], med udgangspunkt i de chlorerede opløsningsmidler TCE og

PCE, men sådanne beskrivelser kan ikke direkte sammenlignes med COC'erne i høfdedepotet. De følgende afsnit omhandler den mulige mobilisering af høfdedepotets stoffer.

Risiko for horisontal mobilisering af DNAPL

Området, der ønskes oprenset, bliver omkranset af en jernspuns, som vil hindre en yderligere spredning af forurening ud af kildeområdet.

Mobiliteten af DNAPL inden for jernspunsen under oprensningen er afhængig af både viskositet, overfladespænding, grundvandshastighed og mængden af DNAPL i formationen. Kapillærtallet (capillary number) er et mål for vands evne for at fortrænge DNAPL-dråber. Større kapillærtal vil indikere større potentiale for mobilisering af DNAPL. Beregninger har vist, at kapillærtallet for PCE og TCE mindskes med ca. en faktor 3 ved opvarmning fra 10 til 90 °C, hvilket indikerer, at horisontal spredning ikke vil fremmes under opvarmningen. Endvidere er horisontale grundvandshastigheder typisk flere størrelsesordener mindre end den nødvendige hastighed for at mobilisere residualt NAPL [Heron et al., 1998].

Under fuld-skala oprensning vil oppumpning af vand fra depotet sikre indadrettet strømning. Derfor vil en passage af grundvand via f.eks. spunssamlinger medføre, at grundvand generelt strømmer ind, ikke ud.

Da oprensningen yderligere forventes at føre til fjernelse af alle færdigvarerne og dermed al fri fase inden for spunsvæggen, vurderes risikoen for horisontal spredning at være minimal.

Risiko for nedsivning af DNAPL

Den nedadrettede mobilitet af DNAPL er styret af opdriften på DNAPL samt kapillarkræfter i formationen. For PCE og TCE mindskes differencen mellem densiteten af DNAPL og vands densitet under opvarmningen, hvilket resulterer i en forøget opdrift af DNAPL med stigende temperaturer. Samtidig har forsøg vist, at kapillarkræfter ikke påvirkes synderligt af opvarmning, og på baggrund heraf forventes der ikke at ske en nedadrettet mobilisering af DNAPL som resultatet af opvarmningen af formationen [Heron et al., 1998].

Gennem litteraturstudiet har det ikke været muligt at tilvejebringe oplysninger om ændringer i COC'ernes densitet som funktion af temperaturen. Det vurderes dog rimeligt at antage, at de organiske faser udvider sig ved opvarmning og typisk bliver mere flydende, idet organiske stoffer udvider sig mere end vand. Dette er påvist for DNAPL som kreosot i detaljerede laboratorieforsøg [Davis, 1999].

Endvidere viser beregninger, at opvarmning af sediment medfører en forøgelse af sediments porers evne til at modvirke en nedadrettet mobilisering af DNAPL [Heron et al., 1998].

Samlet set vurderes risikoen for nedadrettet transport af COC'er under den termiske oprensning på denne baggrund at være minimal.

Risiko for gennembrud af lavpermeable lag

Vertikal mobilisering af DNAPL er ofte mindsket af lavpermeable barrierer, hvor indtrængningstrykket (entry pressure) er større end vægten af den DNAPL, som forsøger at forcere barrieren. Derfor samles DNAPL typisk på toppen af lavpermeable barrierer som silt og ler. Hvis en opvarmning medfører en væsent-

lig reduktion af indtrængningstrykket, kan der teoretisk forekomme en kritisk vertikal spredning af DNAPL under opvarmning. Beregninger har vist, at indtrængningstrykket er relativt upåvirket af opvarmning. Sammenholdt med, at vægten af DNAPL'erne PCE og TCE formindskes under opvarmning grundet forøget opdrift, som beskrevet i afsnittet "Risiko for nedsivning af DNAPL", vil der således ikke ske en gennembrydning af lavpermeable lag ved opvarmning [Heron et al., 1998].

Risiko for uønsket mobilisering af kviksølv

Kviksølv findes i depotet som opløst i færdigvarer, opløst i grundvandet, og adsorberet til sedimenter. Der foreligger ikke observationer, som indikerer, at der forekommer frit kviksølv i depotet.

En termisk oprensning vil generelt øge mobiliteten af vandopløst, ionbundet og frit kviksølv [Kucharski et al., 2005], mens adsorberet kviksølv ligeledes mobiliseres, da vandet opvarmes, og en forøget strømning forekommer. En del af kviksølvet ekstraheres med det oppumpede grundvand og skal fjernes i behandlingsanlægget.

Fjernelse af den frie fase ved termisk behandling kan efterlade kviksølv uden den organiske fase, som det før var opløst i. I sådanne tilfælde ændres kviksølvets mobilitet, og det kan nu strømme med grundvandet.

Da termisk oprensning udføres med hydraulisk kontrol (netto-indstrømning gennem spunsen), vil den øgede mobilitet af kviksølv være et plus, idet mængden af kviksølv reduceres. Hvis tilstrækkelig stor udskiftning af grundvandet forekommer, vil en stor del af kviksølvet derfor fjernes.

Mobiliseringen af kviksølv vil blive studeret nærmere i treatability forsøgene. Den øgede mobilitet anses foreløbigt for at være en positiv mekanisme.

Risiko for mobilisering ved etablering af afværgeanlæg

De udførte forureningsundersøgelser har påvist, at langt hovedparten af forureningsmassen er beliggende henholdsvis oven på det indskudte ler-/gytjelag samt i det overlejrende sandlag. En kommende oprensning vil således sandsynligvis ikke sigte efter at fjerne den relativt beskedne forureningsmasse i de sandede og siltede lag, som er beliggende mellem det indskudte ler-/gytjelag og den såkaldte fjordler. Det vurderes på den baggrund, at det kun i begrænset omfang bliver aktuelt at gennembore det indskudte ler-/gytjelag yderligere.

Hvis det viser sig nødvendigt at oprense det samlede volumen fra terræn og ned til fjordleret, så kan det overvejes at udføre oprensningen i etaper, hvor forureningen først oprenses over det indskudte lerlag og bagefter oprenses under det indskudte lerlag.

Hvis det viser sig nødvendigt at oprense det samlede forureningsvolumen fra terræn og ned til fjordleret i en sammenhængende arbejdsgang, kan der i forbindelse med etablering af jordinstallationer til det termiske afværgeanlæg beliggende under det indskudte ler-/gytjelag ske en nedadrettet DNAPL-strømning gennem det indskudte lerlag. Mobilisering af DNAPL under borearbejdet kan potentielt modvirkes/mindskes ved bl.a. hurtig cementering af borehullerne under installationen af dybere borer samt ved foring under borearbejdet.

Endvidere kan der ske en opadrettet mobilisering af forureningskomponenter til den umættede rene zone over grundvandsspejlet ved kondensation. Risici for uønsket mobilisering skal vurderes nærmere i en evt. senere i fase af projektet, hvor konkrete forslag til termiske afværgeløsninger vil foreligge.

Minimering af spredningsrisiko

I forbindelse med oprensning af høfdedepotet minimeres risikoen for uønsket spredning således:

- Spunsvæggen danner en horisontal barriere, der mindsker strømning ind og ud af depotet.
- Der etableres hydraulisk kontrol ved oppumpning af vand på indersiden af spunsvæggen, så evt. grundvandsstrømning vil være indadrettet.
- Der etableres vakuum i den umættede zone, hvor der opvarmes – derved opsamles de dannede dampe. Evt. lækage vil føre til indadrettet strømning af luft.

TerraTherm har rutinemæssigt sikret, at der ikke sker uønsket spredning af forureningskomponenterne eller nedbrydningsprodukter, både over og under grundvandsspejlet (principperne er præsenteret i [Baker og Heron, 2004]). For projekter med etablering af en spunsvæg er denne kontrol simpel.

2.7 Korrosion som følge af opvarmning samt materialevalg

Set i lyset af TerraTherms erfaringer med korrosion af især underjordiske installationer ved oprensningen af Rocky Mountain Arsenalet jf. afsnit 2.3.1, hvor der under opvarmningen blev dannet syrer, er det oplagt, at noget tilsvarende kan ske ved opvarmning af jorden i høfdedepotet. En skærpene omstændighed i depotet er endvidere, at miljøet i forvejen er yderst aggressivt. I dette afsnit er korrosionsrisikoen i forbindelse med oprensningen nærmere behandlet.

2.7.1 Korrosionsrisiko ved uændret temperatur

De målte værdier af ledningsevner, kloridindhold og pH-værdier er tidligere fundet anvendelige som retningsgivende til vurdering af korrosionsrisikoen i depotet. Højere ledningsevne medfører øget korrosionsaktivitet [Cowi, 2004].

I depotet er der konstateret ledningsevner i intervallet 200 – 4.290 mS/m. Typisk ligger ledningsevnen i intervallet fra 1.000-4.000 mS/m med laveste værdier truffet over og under det indskudte ler-/gytjelag og de laveste værdier i den øvre del af det sekundære magasin i den østlige del af depotet væk fra kystlinien.

Til sammenligning varierer ledningsevnen i havvand typisk mellem 2.000-5.000 mS/m. Kloridindholdet er målt i depotet i intervallet 4.600 til 47.000 mg/l svarende til 0,4 - 4,7 %. Til sammenligning er saltindholdet i havvand typisk 3 – 4 %.

pH-værdier er i depotet målt i intervallet fra 2,4 til 8,4. De laveste værdier er truffet umiddelbart over det indskudte gytjelag, sandsynligvis i forbindelse med tilstedeværelsen af fri fase organik. Det er sandsynligt, at der lokalt i den frie fase kan forekomme endnu lavere pH-værdier [Cowi, 2004].

På baggrund af ovennævnte er korrosionsforholdene i og omkring Høfde 42 vurderet som værende yderst aggressive. Endvidere er det vurderet, at der er

høj risiko for mikrobiologisk korrosion fra sulfatreducerende bakterier ved depotet [Cowi, 2004].

2.7.2 Materialevalg for termisk oprensning

Korrosion af metaller kan være et problem under in-situ oprensning:

- Boringer udsættes for lav pH, forhøjede temperaturer og potentielt for kondensation af varm syre dannet ved nedbrydning af COC'er (som set på Rocky Mountain Arsenal [Todd et al. 2004]).
- Grundvand og dampe, som ekstraheres, kan være korrosive og angribe rørføringer, ventiler, instrumenter, og behandlingsanlæg med udsatte metaloverflader.

TerraTherm har tidligere undersøgt muligheden for at anvende resistente materialer til boringsudstyknings, rørføringer, og behandlingsanlæg [Heron og Galligan 2006]. Anbefalede materialer er:

- Tykvægget jern, hvor nogen korrosion er acceptabelt, men vægtykkelsen giver den ønskede holdbarhed.
- Rustfrit stål, hvor COC'erne og nedbrydningsprodukterne ikke giver anledning til "stress-induced-cracking", en mekanisme, hvor materialet ikke forsvinder, men krakelerer.
- Stål beklædt med epoxy på fladerne som kommer i kontakt med de korrosive stoffer.
- Stål beklædt med teflon på flader, som kommer i kontakt med de korrosive stoffer.
- Højere legeringer som:
 - Hastelloy
 - Inconel
- Graphite (mest til fabrikation af varmevekslere, som skal modstå sur korrosion).

De følgende komponenter skal vurderes i detaljer:

- Boringsudstyknings (injektionsboringer, ekstraktionsboringer, pumper, cement).
- Rørføringer.
- Ventiler.
- Behandlingsanlægget:
 - Varmevekslere
 - Udskillere
 - Filtre
 - Pumper
 - Blæsere
 - Tanke
- Instrumenter i kontakt med luft- eller væskestrømme.

En nærmere analyse af priser og anvendelighed er uden for dette projekts rammer. Dette skal afklares i forbindelse med Fase 2, og de mest lovende metoder bør afprøves i pilotprojektet og muligvis i laboratoriet. TerraTherm har tidligere fået udført "coupon testing", hvor materialeprøver udsættes for de aktuelle stoffer, pH, og temperaturer og siden analyseres i detaljer (vægttab og mikroskopering) [Heron og Galligan 2006]. Sådanne tests sammenholdes med materialepriser, og de mest økonomiske og sikre materialer vælges.

2.7.3 Cheminovas erfaringer

I forbindelse med Cheminovas afværgepumpninger ved henholdsvis "Svovlgruberne" og "Gl. Fabriksgrund" er der konkrete erfaringer med installationer etableret i et reduceret og salt miljø, som er karakteriseret ved såvel ekstreme lave pH-værdier og forekomst af fri organisk fase. I det følgende gives en indledende beskrivelse af Cheminovas erfaringer baseret på interview af nuværende og tidligere Cheminova ansatte [Jessen, 2006], [Christensen, 2006] og [Lapholm, 2006].

Cheminova har en bred erfaring med hensyn til materialevalg i forbindelse med produktion og opbevaring af deres produkter. De fleste processer på Cheminova foregår ved temperaturer lavere end 200 °C og Cheminova har således ikke erfaringer med processer/korrosionsforhold i forbindelse med højere temperaturer.

Deres generelle erfaring siger, at det er nødvendigt at udføre små tests med henblik på at undersøge korrosionsforholdene under de specifikke forhold. Litteraturen giver ikke nødvendigvis et retvisende billede og kan i nogle situationer overvurdere henholdsvis undervurdere korrosionspotentialet. Cheminova rekvirerer således FORCE til at udføre accelererede forsøg med en måneds varighed, når Cheminova har behov for at vurdere specifikke korrosionsforhold. Cheminova har henvist til FORCE, som har stort kendskab til materialevalg ved forskellige driftstemperaturer.

Koger Øst

Som nævnt i afsnit 2.3.3 har Cheminova igennem en lang årrække behandlet kraftigt forurenede grundvand fra henholdsvis "Svovlgruberne" og "Gl. Fabriksgrund" i den såkaldte Koger Øst, som blev anvendt til ludkogning. Selve tanken, hvor der blev injiceret damp, bestod af almindeligt bundjern, mens pladevarmeveksleren bestod af rustfrit stål.

De forurenede områder er begge beliggende kystnært til Nissum Bredning, og det oppumpede vand fra disse områder er derfor relativt salt. Miljøstyrelsens forureningsundersøgelse på "Gl. Fabriksgrund" i 1981 viser således typiske saliniteter fra 10-30 promille i de områder, hvor den hydrauliske barriere blev etableret.

Det forventes som udgangspunkt, at kloridholdigt vand bliver mere korrosivt, når det varmes op. I det konkrete tilfælde har Cheminova dog ikke observeret problemer med korrosion af materialerne i Koger Øst.

2.8 Risiko for produktion af uønskede gasser og evt. følgende udvikling af eksplosionsfare samt lugtgener

2.8.1 Produktion af uønskede gasser

Den udførte litteratursøgning på Statsbiblioteket i Århus viste umiddelbart ingen oplysninger om, hvilke gasser der dannes ved opvarmning af stoffer svarende til forureningen på Høfde 42. Men efterfølgende er der fremkommet oplysninger om dannelse af uønskede gasser i forbindelse med nedbrydning af færdigvarer. Der er således med udgangspunkt i Beredskabsstyrelsens indsatskort og Cheminovas kemikaliebeskrivelser for færdigvarerne parathion, methylparathion, malathion og ethylsulfotep identificeret en række uønskede gasser, som kan dannes ved opvarmning, jf. tabel 2.7

Tabel 2.7 Angivelse af uønskede gasser, som kan dannes ved opvarmning af de såkaldte færdigvarer.

	Parathion	Methyl-parathion	Fyfanon	Sulfotep
Dannelse af gasser ved opvarmning/brand	Diethylsulfid	Dimethylsulfid	Dimethylsulfid	Ikke oplyst
	Fosforpentaoxid	Svovldioxid	Methylmercaptan (CH ₃ SH)	
	Nitrogenoxider	Fosforpentaoxid	Fosforpentaoxid	
	Svovldioxid	Nitrogenoxider		
Grænseværdi ved eksponering af færdigvare	0,1 mg/m ³	0,2 mg/m ³	5 mg/m ³	0,2 mg/m ³

Da forureningen i høfdedepotet udgøres af en kompleks stofblanding er det inden for rammerne af projektets fase 1 ikke muligt at vurdere, hvilke gasser der yderligere vil kunne dannes ved forskellige grader af opvarmning.

Oprensningen vil foregå under vakuum – og området vil blive forseglet med en vandret barriere. Pga. udsugningen af gasser vil evt. nedbrydningsprodukter blive fjernet under oprensningen, så de ikke ophobes i høje koncentrationer.

Gasserne opsamles under vakuum og destrueres/fjernes i behandlingsanlægget.

2.8.2 Uønskede lugtgener under oprensningen

Da flere af de forekommende stoffer er forbundet med en voldsom lugt, skal den pneumatisk kontrol omkring høfdedepotet sikres ekstra grundigt. Dette sker ved:

- Afgravning af de øverste 2-3 meter sand og installation af en vandret barriere.
- Etablering af spunsvæg omkring depotet.
- Forsegling med beton, hvor spuns og vandret barriere mødes.
- Konstant udsugning af luft fra depotet, så eventuelle lækager er indadrettede.
- Monitering af tryk i den umættede zone til verificering af pneumatisk kontrol.

TerraTherm har rensset mange grunde med ildelugtende stoffer, med meget begrænsede lugtgener til følge [Alhambra Pole Yard med tjærestoffer, Bierschenk et al. 2004; North Adams tjæregrund, Baker et al. 2004; Urbana project med opløsningsmidler, LaChance et al. 2004; Terminal 1 projekt med CVOC og olie, Geomatrix og TerraTherm 2005].

2.8.3 Eksplosionsrisiko under oprensning

Risikoen for eksplosionsfare i forbindelse med opvarmning af den forurenede jord på Høfde 42 er i det følgende nærmere behandlet. Risikoen er dels vurderet for jordmatricen og dels for eksplosioner i forbindelse med afværganlæggets vakuumelekstraktionsanlæg til luft.

2.8.3.1 Risiko for eksplosion i jordmatricen

TerraTherm har i tidligere termiske oprensningsprojekter ikke oplevet eksplosioner. I det følgende præsenteres en række konkrete erfaringer, som Ter-

raTherm har fra andre termiske projekter, hvorefter der redegøres for eksisterende viden om risiko for eksplosion i jordmatricen ved høfdepotet.

TerraTherm har i forbindelse med indledende undersøgelser til vurdering af ISTD-metodens anvendelighed til oprensning på Massachusetts Military Reservation Massachusetts lavet en vurdering af risikoen for in-situ eksplosionsfare under oprensningen. Jorden på lokaliteten var bl.a. forurenede med sprængstoffer, herunder nitroaromaterne hexahydro-1,2,5-trinitro-1,3,5-triazin (RDX), octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazin (HMX), 2,4,6-trinitrotoluen (TNT), nitroglycerin og isomerer af 2,4- og 2,6-dinitrotoluen (DNT).

Jord forurenede med ovennævnte sprængstoffer blev i treatability-forsøg opvarmet til mellem 200 og 300 °C, og resultaterne viste, at metoden var anvendelig til oprensning af jord indeholdende partikler af sprængstoffer på fast form [Baker et al., 2001].

Typiske jorde har en porøsitet på maksimalt 40 %. Ca. 60 % af jorden er således bestående af bjergminerale (silikater og karbonater), som adsorberer reaktionsenergien ved en evt. forbrænding i jorden. Selv i det tilfælde, hvor jorden er forurenede med et indhold af brændbare kulbrinter på 10.000 mg/kg, vil en komplet forbrænding af kulbrinterne kun kunne hæve temperaturen i jorden til ca. halvdelen af flammetemperatur. Forbrænding af denne mængde kulbrinter vil endvidere kræve hundrede poreluftvolumener af luft. I praksis er den mængde luft, som er til stede i jordens porevolumen, kun tilstrækkelig til at afbrænde ca. 20 mg/kg kulbrinter, og en sådan forbrænding vil, på grund af jordens varmekapacitet, kun kunne hæve jordtemperaturen få grader [Baker et al., 2001].

Det er bl.a. også grunden til, at sand bliver brugt til at forebygge og slukke brande. På salgsanlæg for brændstof og på raffinaderier, i udlandet såvel som herhjemme, bliver ledningsbrønde og pumpebrønde ofte opfyldt med sand for derved at hindre eksplosioner og brande [Sørensen, 2006 a].

Shell TerraTherm har oprenset en grund i Eugene, Oregon med ISTD, hvor der på grundvandsspejlet var op til 2,4 meter fri fase benzin og dieselolie, uden der opstod hverken brande eller eksplosioner [ISTD projekt i Eugene, Oregon; Conley et al., 2000].

I litteraturen angives stoffer som parathion og methylparathion som termisk ustabile med iboende risiko for at reagere exothermt. I tabel 2.8 er opsummeret en række oplysninger fra Cheminovas kemikaliebeskrivelser om stabilitet og reaktivitet for stofferne parathion, methylparathion og malathion. Det skal pointeres, at oplysningerne skal ses i sammenhæng med håndtering og oplag af "rene" produkter, som adskiller sig meget fra situationen i høfdepotet.

Tabel 2.8 Angiver stabilitet og reaktivitet for stofferne parathion, methylparathion og malathion i henhold til Cheminovas kemikaliebeskrivelser.

Stabilitet og reaktivitet	Parathion	Methyl-parathion	Malathion
Termostabilitet	Ved temperaturer over 120°C nedbryder EP-3 hurtigt/eksplosivt.	Ved temperaturer over 100°C nedbryder MP-3 hurtigt/eksplosivt.	Ved opvarmning til temperaturer over 100°C begynder malathion at nedbryde hurtigt/eksplosivt.
	Nedbrydningen er selvforstærkende og er både temperatur- og tidsafhængig grundet eksoterme og autokatalytiske reaktioner.		Fyfanon er følsom over for varmpåvirkninger. Halveringstiden af malathion lagret ved 55°C er målt til 17 uger og ved 90°C mindre end en uge.
	EP-3 er stabilt ved normale lagertemperaturer. Opvarmning over 55°C frarådes.		
Reaktionsevne	Stoffet reagerer med stærke baser og stærke oxidationsmidler.		Malathion er et lidet reaktivt stof.

Ifølge [Damborg, 2006] vil fosforbaserede insekticider som parathion, methylparathion og malathion under påvirkning af varme kunne omlejres således, at det dobbeltbundne svovl udskiftes med ilt, hvorefter der kan foregå et 2-trins autokatalytisk nedbrydningsforløb. Risiko for eksplosion stiger med temperaturen, og varigheden af en given varmpåvirkning spiller ligeledes en rolle.

Det første trin er en exotherm reaktion, som udvikler CH_3SCH_3 (for methylparathion) og svovldioxid, og som efterlader et polymeriseret residual. Hvis residualet udsættes for fortsat varmetilførsel, vil der ske en yderligere nedbrydning (trin 2), som kan være eksplosiv.

[Damborg, 2006] vurderer, at methylparathion er mere ustabil end parathion. Endvidere viser Cheminovas erfaringer, at tilstedeværelsen af opløsningsmidler er med til at reducere risiko for eksplosion i forbindelse med opvarmning.

Hvorvidt denne risiko for eksplosionsfare hidrørende fra opvarmning af "rene" produkter af henholdsvis parathion og methylparathion er relevant for blandingsforureningen i høfde depotet, er uvist. På baggrund af disse stoffers termiske ustabilitet bør der udføres supplerende undersøgelser med henblik på at afklare forholdet inden igangsættelse af et eventuelt pilotprojekt.

2.8.3.2 Risiko for eksplosion i luftbehandlingsanlægget

Erfaringer fra driften af talrige luftbehandlingsanlæg i forbindelse med termiske oprensninger viser, at eksplosioner og brande i vakuumelekstraktionsanlægget ikke udgør en alvorlig risiko (Baker et al., 2001).

Til flere af de luftbehandlingsanlæg, som TerraTherm har benyttet i forbindelse med oprensninger, har der været tilknyttet en termisk oxidizer til efterbehandling og rensning af den oppumpede forurenede luft. I den termiske oxidizer forbrændes luftstrømmens indhold af forurenende stoffer, inden udledning til atmosfæren. Ved flere oprensninger gennemført af TerraTherm har den oppumpede lufts indhold af kulbrinter været på et niveau, så forbrændingen har kunnet holde sig selv i gang i den termiske oxidizer. På trods

af, at de oppumpede gasser var brandbare, er der således ikke sket ukontrollerede brande i vakuumelekstraktionsanlæggets rørsystem. (Baker et al., 2001; Bierschenk et al., 2004; Baker et al., 2004).

I øvrigt er det muligt at forsyne ekstraktionsanlæggets rørsystem med brand- og eksplosionshæmmende foranstaltninger (flame arrestors), således at en eventuelt opstået brand i rørsystemet ikke har mulighed for at sprede sig. Dette blev anvendt på North Adams projektet, hvor meget høje koncentrationer af naftalen blev behandlet [Baker et al., 2004.]

2.9 Arbejds miljø og risiko for påvirkning af fauna og/eller flora på tilstødende naturarealer

2.9.1 Arbejds miljø

Ved arbejde med pesticider, kviksølv og varme skal der træffes en række arbejdsmiljømæssige forholdsregler, og der skal udføres en specifik analyse som en integreret del af forundersøgelserne, inden der igangsættes et oprensningsprojekt. Der skal udarbejdes en sikkerheds- og sundhedsplan, inden anlægsarbejdet påbegyndes. Samtidig skal anlægsarbejdet anmeldes til arbejdstilsynet umiddelbart før, arbejdet startes.

De vigtigste foranstaltninger til beskyttelse af personalet kan sammenfattes:

- Brug af respiratorer og andet personligt beskyttelsesudstyr, som forhindrer kontakt med kemikalierne under boring, installation, konstruktion og oprensningsperioden.
- Monitoring af luftens koncentrationer af COC.
- Monitoring af eksplosive og/eller toksiske gasser i ekstraheret luft og udeluft under opvarmningen.
- Regelmæssig screening af personalet for påvirkning af COC ved udtagning af blodprøve og måling for tegn på acetylcholinesterasehæmning.
- Etablering af arbejdsplads med skarp adskillelse (med sluser) mellem "rene og beskidte" afdelinger.
- Under selve oprensningen er undergrunden under vakuum, og behandlingsanlægget sikret så vidt muligt mod lækager. Rør og tanke, som indeholder høje koncentrationer af COC, er under vakuum (hvor muligt placeres luftbehandlings-udstyret før blæserne og ventilation installeret på tanke).
- Afmærkning og sikring af personale mod skoldning

I tabel 2.9 ses en oversigt over de væsentligste arbejdsmiljømæssige foranstaltninger, som vil være nødvendige for de behandlede termiske metoder i projektets forskellige faser. Da fare for skoldning indtræder ved temperaturer på over ca. 50°C og eksplosionsrisici teoretisk kan være aktuelle fra over ca. 70°C (det er dog uvist, om eksplosionsrisici overhovedet vil være tilstede in situ), er de arbejdsmiljømæssige forholdsregler omtrent de samme for de tre termiske teknikker. Den eneste forskel er, at ISTD iht. stærkstrømsreglementet medfører nogle ekstra krav til placering, afmærkning og indhegning af elektrisk udstyr.

Tabel 2.9 Oversigt over arbejdsmiljømæssige forhold ved flushing med varmt vand, dampinjektion og ISTD i projektets faser.

		Flushing med varmt vand	Dampstripping	ISTD
Anlægsfase, jordarbejder	Indhegning af arbejdsområde	Ja	Ja	Ja
	Personlige værnemidler	Friskluftsforsynet heldragt, sikkerhedsfodtøj, hjelm, tætte handsker	Friskluftsforsynet heldragt, sikkerhedsfodtøj, hjelm, tætte handsker	Friskluftsforsynet heldragt, sikkerhedsfodtøj, hjelm, tætte handsker
	Monitering af COC i udeluft	Ja	Ja	Ja
	Brug af vaskeluse ved udgang fra arbejdsplads	Ja	Ja	Ja
	Vask af materiel der forlader arbejdspladsen	Ja	Ja	Ja
	Screening af personale for påvirkning fra COC ved blodprøver	Ja	Ja	Ja
Anlægsfase, opbygning af behandlingsanlæg	Indhegning af arbejdsområde	Ja	Ja	Ja
	Personlige værnemidler	Heldækkende arbejdsbeklædning, sikkerhedsfodtøj, hjelm ¹⁾	Heldækkende arbejdsbeklædning, sikkerhedsfodtøj, hjelm ¹⁾	Heldækkende arbejdsbeklædning, sikkerhedsfodtøj, hjelm ¹⁾
	Monitering af COC og eksplosive gasser i udeluft	Nej	Nej	Nej
	Brug af vaskeluse ved udgang fra arbejdsplads	Nej	Nej	Nej
	Vask af materiel der forlader arbejdspladsen	Nej	Nej	Nej
	Screening af personale for påvirkning fra COC ved blodprøver	Nej	Nej	Nej
	Særlig sikring ved anvendelse af høje spændinger og strømstyrker	Nej	Nej	Ja
Driftsperiode samt afkøling	Indhegning af arbejdsområde	Ja, samt isolering og afmærkning af opvarmede borer, rør og installationer	Ja, samt isolering og afmærkning af opvarmede borer, rør og installationer	Ja, samt isolering og afmærkning af opvarmede borer, rør og installationer
	Personlige værnemidler	Heldækkende arbejdsbeklædning, sikkerhedsfodtøj, hjelm, åndedrætsværn	Heldækkende arbejdsbeklædning, sikkerhedsfodtøj, hjelm, åndedrætsværn	Heldækkende arbejdsbeklædning, sikkerhedsfodtøj, hjelm, åndedrætsværn
	Monitering af COC og eksplosive gasser i udeluft	Ja	Ja	Ja
	Brug af vaskeluse ved udgang fra arbejdsplads	Ja	Ja	Ja
	Vask af materiel der forlader arbejdspladsen	Ja	Ja	Ja
	Screening af personale for påvirkning fra COC ved blodprøver	Ja	Ja	Ja
	Særlig sikring ved anvendelse af høje strømstyrker	Nej	Nej	Ja
Monitering af oprensningseffekt	Indhegning af arbejdsområde	Ja	Ja	Ja
	Personlige værnemidler:	Friskluftsforsynet heldragt, sikkerhedsfodtøj, hjelm, tætte handsker	Friskluftsforsynet heldragt, sikkerhedsfodtøj, hjelm, tætte handsker	Friskluftsforsynet heldragt, sikkerhedsfodtøj, hjelm, tætte handsker
	Monitering af COC i udeluft	Nej	Nej	Nej
	Brug af vaskeluse ved udgang fra arbejdsplads	Ja	Ja	Ja
	Vask af materiel der forlader arbejdspladsen	Nej	Nej	Nej
	Screening af personale for påvirkning fra COC ved blodprøver	Nej	Nej	Nej

1) Åndedrætsværn skal være i beredskab og skal umiddelbart kunne anvendes ved forekomst af lugtgener. I driftsfasen monitoreres for eksplosive gasser, og før idriftsættelse skal der opstilles et beredskab for håndtering af eventuel forekomst af sådanne.

Som nævnt skal der som led i detailprojekteringen udarbejdes en plan for sikkerhed og sundhed. Som et eksempel er TerraTherms "Health and Safety Plan" fra projektet med klorerede pesticider på Rocky Mountain Arsenal vedlagt som bilag D. Desuden er TerraTherms procedurer for beskyttelse mod luftbåren eksponering vedlagt som bilag E.

2.9.2 Risiko for påvirkning af fauna

2.9.2.1 Lovgivning og tilladelser

Ringkjøbing Amt har i 2004 vurderet, hvilke tilladelser det er nødvendigt at indhente i forbindelse med etableringen af spunsvæggen ved Høfde 42. Amtets vurderinger er vist nedenfor:

Jordforureningsloven

Da afværgetiltaget sker uden for indsatsområderne, kræves der ikke tilladelse efter Jordforureningsloven. Jordforureningsloven giver desuden mulighed for, at visse tilladelser ikke skal indhentes.

Klitfredningszonen

Projektet foregår i klitfredningszonen – myndigheden er Statsskovsdistriktet.

Internationale Naturbeskyttelsesområder

Projektområdet ligger umiddelbart uden for EF-Fuglebeskyttelsesområde og Ramsar område. Projekttypen er ikke forbudt i henhold til Bekendtgørelse om afgrænsning og administration af internationale naturbeskyttelsesområder. Der kan ifølge §3, stk. 4 i bekendtgørelsen planlægges foranstaltninger, som vil medføre forbedringer af naturforholdene i det berørte område.

Myndigheden er Skov- og Naturstyrelsen, og projektets påvirkning af disse beskyttelsesområder skal analyseres. Det fremgår endvidere af bekendtgørelsen, at det er den myndighed, der giver tilladelse til projektet, der skal sikre, at projektet ikke skader naturbeskyttelsesområdet.

Vildtreservat

Projektet ligger umiddelbart uden for et vildtreservat. Myndigheden er Skov- og naturstyrelsen.

Carl Bro har på foranledning af Ringkjøbing Amt udarbejdet en konsekvensvurdering af spunsprojektets påvirkning af de internationale naturbeskyttelsesinteresser ved etablering af spunsen i efterårsmånederne (Carl Bro, 2004) og forårsmånederne (Carl Bro, 2005). Etableringen af spunsvæggen indbefattede vibration/ramning af spuns, som medførte støjpåvirkning i fuglebeskyttelsesområdet, samt forstyrrende aktiviteter inden for selve fuglebeskyttelsesområdet. Projektets mulige påvirkning blev vurderet i forhold til nedenstående forhold:

- Fysiske anlæg og areal
- Støj fra etablering af spunsvæggen
- Vibrationer fra etablering af spunsvæggen
- Øvrige aktiviteter ved hødedepotet
- Trafik til og fra området

Projektområdet ligger delvist inden for EF-fuglebeskyttelsesområde nr. 39 "Harboøre Tange, Plet Enge og Gjeller Sø", der er sammenfaldende med den

sydlige del af RAMSAR-område nr. 5 "Nissum Bredning med Harboøre og Agger Tange.

Det må således forventes, at det skal udarbejdes en række konsekvensvurderinger og ansøgninger, inden et eventuelt pilot- eller oprensningsprojekt kan igangsættes. På baggrund af de af amtet udførte vurderinger og erfaringer i forbindelse med spunsprojektet forventes der ikke at være lovmæssige forhold, som kan forhindre fortsatte oprensningsaktiviteter ved høfdedepotet, hvis disse i øvrigt ikke medfører en væsentlig negativ påvirkning af det tilstødende fysiske miljø.

2.9.2.2 Påvirkning af det fysiske miljø

Oprensningen påtænkes foretaget på dybder større end ca. 2,5 m u.t., hvorved de terrænnære jordlag ikke opvarmes væsentligt. Da området over og umiddelbart omkring oprensningsområdet desuden vil blive gennemgravet som led i anlægsarbejderne, vurderes opvarmningsaspektet i projektet ikke at have nævneværdige konsekvenser for faunaen og floraen på Høfde 42. De største påvirkninger vil være fra etablering af spunsvæggen, afgravning af sand, etablering af borer og mv. (trafik, fjernelse af sand, dieselos).

I Jacobsen et al., 2005 er det i forbindelse med en termisk oprensning med damp ved Hedehusene, Danmark undersøgt, i hvilket omfang varme-resistente mikroorganismer udvikler sig i jorden i oprensnings- og nedkølingsfasen. I projektet blev det påvist, at der blev udviklet patogene mikroorganismer i jordmiljøet i forbindelse med dampoprensningen [Jacobsen et al., 2005].

Det vurderes, at der vil være en meget lille risiko for dannelse af patogener og deres evt. overlevelse efter oprensningen. Forholdene i høfdedepotet er helt anderledes end i den muldholdige overjord i Hedehusene, som blev svagt opvarmet nedefra via dampinjektion. Ved høfdedepotet vil der være pH-ændringer, temperaturændringer, og kraftig udvaskning af sedimenterne med høje koncentrationer af giftstoffer, og mikroorganismer skal således være meget hårdføre for at overleve in-situ.

Såfremt dannelsen af patogene bakterier ønskes yderligere belyst, anbefales det, at der laves målinger under pilot-forsøget. Målinger er den eneste realistiske metode til at besvare spørgsmålet, da forekomst, overlevelse, og vækst af mikroorganismer vanskeligt kan forudses teoretisk.

De nærmere risici for områdets fauna og flora under en eventuel termisk oprensning afklares i fase 2 af projektet ved inddragelse af relevante myndigheder.

2.10 Patentforhold for termisk oprensning i Danmark

Dette afsnit omhandler patentforhold omkring:

1. Injektion/cirkulation af varmt vand.
2. Dampinjektion.
3. ISTD.
4. Andre metoder, som indgår i fuld-skala konceptet.

Nedenfor diskuteres disse enkeltvis.

2.10.1 Injektion/cirkulation af varmt vand

Litteraturstudiet har ikke afdækket patenter, som omfatter injektion/cirkulation af varmt vand.

2.10.2 Dampinjektion

Dampinjektion er dækket under patent om Steam Enhanced Extraction (SEE) via University of California (Udell, K.S., N. Sitar, J.R. Hunt, and L.D. Stewart. 1991. Process for In Situ Decontamination of Subsurface Soil and Groundwater. US Patent # 5,018,576). Men i Danmark er der ikke tidligere betalt licens for denne metode. Derfor forventes det, at damp kan benyttes uden patentafgift. Hvis dette ikke viser sig at være korrekt, har TerraTherm en licens-aftale om benyttelse af SEE. Afgiften er ca. \$1-2 per kubikmeter jord, som behandles.

2.10.3 ISTD

ISTD er dækket af internationale patenter udtaget af Shell. TerraTherm har en eksklusiv licens til ISTD og bruger Krüger som underleverandør på dele af det specielle udstyr, som anvendes til opvarmningen ved ISTD oprensninger i Danmark. Både TerraTherm og Krüger markedsfører som entreprenører ISTD i Danmark, og ved oprensninger udføres entreprenørleverancen i samarbejde. TerraTherm og Krüger leverer varmelegemer, strømforsyninger og kontrol-udstyr. Andre dele af projekterne (f.eks. design, borearbejde, behandlingsanlæg, monitorering, affaldshåndtering, rapportering) kan udføres af rådgivere og entreprenører helt uafhængigt af TerraTherms entreprenøraftale med Krüger.

TerraTherm betaler Shell patentafgift efter en formel baseret på volumen af jord/sediment behandlet. Danske kunder betaler ca. \$13 pr. kubikmeter (\$10 per cubic yard), hvilket dækker betalingen for patentafgifter og diverse administration.

Bilag F indeholder listen af internationale ISTD-relaterede patenter og opfindelser. Bilag G indeholder en kort beskrivelse af de væsentligste patenter for ISTD-anvendelse i Danmark, med referencer til patentnumre, datoer, og andre data.

2.10.4 Andre metoder, som indgår i fuld-skala konceptet

I litteraturstudiet er der ikke truffet oplysninger om patentforhold vedrørende in-situ basisk hydrolyse, cirkulation af grundvand med pH justering, eller det anvendte anlæg til behandling.

I forbindelse med kombinationsmetoder betales afgifter for de enkelte teknologier – i dette tilfælde udelukkende ISTD for det volumen, som opvarmes helt eller delvist med metoden.

2.11 Sammenfatning af litteraturstudium

Erfaringer med termiske metoder til oprensning af stoffer svarende til forureningen på Høfde 42

På baggrund af oplysninger fra det gennemførte litteraturstudie kan det således konkluderes, at der er bred erfaring med brug af termiske metoder til op-

rensning af pesticidforurenede jord. Især oprensning af organo-chlorerede pesticider er velbelyst i litteraturen, og oprensningseffektiviteter på mellem 97 og 99,9 % er nævnt. Det har ikke været muligt at finde artikler, som omhandler termiske oprensninger af pesticidforurenede lokaliteter, hvor forurenings-sammensætningen direkte kan sammenlignes med den påviste sammensætning ved Høfde 42.

Endvidere kan det konkluderes, at der er størst erfaring med termisk oprensning af pesticider ved temperaturer over ca. 200 °C. Ved brug af superophe- det vand viser forsøg dog, at de vandopløselige pesticider bliver reduceret til ca. 50 % ved behandling ved 100 °C i 15 minutter [Lagadec et al., 2000]. Der savnes dog oplysninger om, hvorledes oprensningseffektiviteten af pesticider i jord vil være i temperaturintervallet fra baggrundstemperatur og til ca. 100 °C.

Det forventes, at mobiliteten af kviksølv øges pga. opvarmningen, forceret vandstrømning, desorption og fjernelse af den frie fase, hvor kviksølv kan være opløst og beskyttet mod udvaskning.

Hydrolyse af COC'ere som funktion af temperaturen

Hydrolysehastigheden for parathion, malathion og methyl-parathion i vandige opløsninger stiger drastisk med stigende temperaturer. Disse stoffer forventes at udgøre den største forureningsmasse i depotet.

I relation til de faktiske forhold på høfdedepotet skal det bemærkes, at en meget stor del af forureningen træffes som fri fase, og at hydrolysehastigheden således vil være begrænset af opløsningskinetikken for den frie fase.

Endvidere skal det nævnes, at tilstedeværelsen af bestemte former for kviksølv (herunder bl.a. kviksølv på formen Hg(II)) i laboratorieforsøg har vist sig at fremme hydrolysen af organofosfat pesticider som methyl-parathion [Zeinali og Torrents, 1998]. Dette faktum kan ligeledes vise sig nyttigt under oprensningen af Høfde 42, hvor der i jordmatricen er betydelige mængder kviksølv til stede.

Uønsket mobilisering af forurening

Den termiske oprensning virker ved, at stofferne enten nedbrydes eller mobiliseres og opsamles. Derfor er termisk oprensning altid forbundet med en vis risiko for uønsket mobilisering. Spunsen, hydraulisk kontrol i oprensningsperioden samt afværgeanlæggets vakuumelekstraktionsanlæg vil modvirke, at der sker en uønsket spredning af forureningen under oprensningen.

Korrosionsrisiko under den termiske oprensning

Forholdene i høfdedepotet forventes at være yderst aggressive for underjordiske installationer, rørføringer og behandlingsanlæg mv. Således er korrosionsforholdene afgørende for valg af materialer i forbindelse med den termiske oprensning.

Der er lokaliseret en række resistente materialer, som bør overvejes nærmere ved en dimensionering af afværgeanlægget. Endvidere er der lokaliseret enkeltelementer i afværgeanlægget, for hvilke korrosionsspørgsmålet skal vurderes i detaljer ved en evt. fase 2.

Dannelse af gasser, lugtgener og eksplosionsrisiko

Dannelsen af gasser under termisk oprensning er mulig og håndteres rutinemæssigt via pneumatisk kontrol og passende valg af behandlingsanlæg til den

ekstraherede luft. Fordi depotet holdes under vakuum under oprensningen, er hverken spredning af gasser eller problematiske lugtgener sandsynlige.

Ekspllosioner i jordmatricen, underjordiske brande samt eksplosioner i afværganlæggets luftbehandlingsanlæg er ikke sandsynlige. Der er i litteraturstudiet ikke fundet oplysninger om, at der til dato er sket eksplosioner i forbindelse med termiske oprensninger. Det vurderes dog på grund af parathions og methylparathions ustabilitet ved opvarmning nødvendigt at indarbejde belysning af eksplosionsrisikoen konkret på materiale udtaget fra høfdedepotet forud for gennemførelsen af et evt. pilotprojekt.

Arbejds miljø

Ved arbejde med pesticider, kviksølv og varme skal der træffes en række arbejdsmiljømæssige forholdsregler. En specifik analyse skal foretages, når omfanget af den endelige afværgeløsning kendes.

Påvirkning af fauna og flora

Opvarmningsaspektet i det termiske projekt vurderes ikke at have nævneværdige konsekvenser for faunaen og floraen på og omkring Høfde 42. De største påvirkninger vil være fra etablering af spunsvæggen, afgravning af sand, etablering af borer mv. (trafik, fjernelse af sand, dieselos). De nærmere omstændigheder omkring risikoen for områdets fauna og flora afklares i fase 2 af projektet ved inddragelse af relevante myndigheder.

Patentforhold

Patentforhold i forbindelse med gennemførelse af termiske oprensninger i Danmark er afklaret ved litteraturstudiet. Der forventes udelukkende at skulle betales afgift i tilfælde af, at ISTD anvendes i forbindelse med oprensningen.

3 Treatability Study

Treatability forsøgene er planlagt og gennemført på baggrund af resultaterne fra litteraturstudiet. Som tidligere nævnt har formålet med forsøgene været at:

- Belyse forureningsfjernelsen for udvalgte stoffer ved opvarmning til hhv. ca. 70, 90, 100 og 300 °C.
- Belyse effekten på pH, bufferkapacitet, nedbrydningsrater og udvaskning af udvalgte forureningskomponenter af opvarmningen til de forskellige temperaturer.
- Belyse hydrolysen af udvalgte stoffer ved 10 og 70 °C.
- I udvalgte forsøg at belyse gas- og varmeudviklingen som følge af opvarmningen.

3.1 Overordnet forsøgsbeskrivelse

Sediment og grundvand udtaget ved Høfde 42 blev anvendt til laboratorieforsøg hos det amerikanske analyselaboratorium Kemron. Forsøgene indebar:

- Homogenisering og blanding af prøver udtaget i forskellige dybder.
- Bestemmelse af fysiske parametre.
- Bestemmelse af pH bufferkapacitet.
- Hydrolyse studeret i batche ved 10 og 70 °C med og uden justering af pH til 10. Disse forsøg inkluderede målinger af uorganiske gasser og pH under inkubering.
- Termiske reaktorforsøg ved 70, 90, 100 og 300 °C til bestemmelse af oprensningseffektivitet.

Analysen af organiske stoffer på sediment og vandprøver blev udført på Cheminova.

3.2 Metoder og materialer

I dette afsnit beskrives treatability study aktiviteterne. Mere detaljerede planer og beskrivelser er vedlagt i bilag H og bilag I (på engelsk).

3.2.1 Udtagning af sediment og grundvand

Den 1. marts 2006 er der etableret en lokaliseringsboring i hotspot området ved Høfde 42 til udtagning af sedimentprøver til treatability forsøgene. Boringen blev udført med 6" snegl, og den blev etableret som et uforet nedstik. Boringen blev ført til undersiden af det indskudte ler- og gytjelag ca. 8,6 m u.t.

NIRAS' miljøtilsyn kunne umiddelbart vurdere, at forureningsniveauet var markant fra ca. 5 m u.t., hvilket omtrentligt svarer til afgravningsdybden i forbindelse med Miljøstyrelsens depotfjernelse i 1981. Der blev observeret et tyndt lag fri organisk fase beliggende oven på det indskudte ler- og gytjelag. Der blev udtaget sedimentprøver i en række af dybdeintervaller, som blev

opbevaret i hver sin kraftige plasticpose. Dybdeintervaller og antal af udtagne glas fremgår af tabel 3.1.

Tabel 3.1 Angivelse af dybdeintervaller og antal glas, hvor der blev udtaget sedimentprøver

Dybdeinterval	Antal glas	Masse (kg)
5-6 meter under terræn	4	7
6-7 meter under terræn	3	5
7-8 meter under terræn	3	5
8-8,6 meter under terræn *	6	10

* svarende til nogle få cm ned i det indskudte lag.

Da prøvetagningen var afsluttet, blev materialet i de enkelte prøvetagningsposer, en pose per dybdeinterval, homogeniseret, og der blev udtaget en sedimentprøve til analyse fra hver pose. Prøvematerialet blev herefter fyldt i 1 liters glas med skruelåg. Glassene kom i hver sin rilsanpose og blev lukket med plastikstrip, hvorefter de blev stillet på køl i køleskabet i amtets "Kulhus". I tabel 3.1 er angivet antal af 1 l glas fra hvert dybdeinterval.

I tabel 3.2 fremgår indholdet af færdigvarer og væsentligste triestre i de udtagne sedimentprøver fra nævnte dybdeintervaller.

Tabel 3.2 Analyseresultater for homogeniserede prøver fra hvert dybdeinterval (mg/kg vv)

Parameter	Dybdeinterval (m u.t.)			
	5-6	6-7	7-8	8-8,6
EP3	1800	970	300	10.000
MP3	i.o.	i.o.	i.o.	1100
FYFANON	<10	<10	<10	500
E-SULFOTEP	i.o.	i.o.	i.o.	360
E-AMINO-P3	10	26	<10	<10
EOOOPS	i.o.	i.o.	i.o.	260
MOOSPS	i.o.	i.o.	i.o.	770
EEMOOSPS	23	29	<10	260
EOOSPS	30	22	<10	80

i.o. ikke oplyst af Cheminova.

NIRAS har den 6. april 2006 udtaget grundvand fra boring V04B til treatability forsøg. Vandet blev pumpet op med en ny Whale pumpe og PE slange, og der blev forpumpet i ca. 15 min. inden selve prøvetagningen. Grundvandsprøven blev i første omgang pumpet over i en 20 liters plastik dunk, hvorefter der blev udtaget en delprøve til analyse på Cheminova. Plastikdunken blev umiddelbart efter udtagning afleveret hos Cheminova, hvor den blev sat på køl. Inden forsendelse til USA blev vandprøven fordelt på 1 liters flasker.

Cheminova analyserede vandprøven umiddelbart efter udtagning for indhold af parathion, methylparathion og fyfanon, jf. tabel 3.3. Der blev endvidere efter aftale med NIRAS målt pH og chloridindhold. pH og chloridkoncentrationen var hhv. 3,2 og 1.400 mg/l. Analyseresultater er vedlagt i bilag J.

Tabel 3.3 Indhold af udvalgte stoffer i vandprøven udtaget til treatability forsøg.

Parameter	mg/l
Parathion	3,3
Methylparathion	4
Fyfanon	8,7

I forbindelse med forsendelse af prøvemateriale (sediment og vand) til Kemron i USA har Cheminovas Logistikafdeling været behjælpelig med nedpakning af materiale i UN godkendt emballage. Hvert glas/flaske blev emballeret i en plasticpose, som derefter blev placeret i en særskilt UN godkendt beholder af typen 1A2 (blikdåse), som derefter blev placeret i en UN godkendt papkasse med 1-3 glas per papkasse sammen med absorberende granulat.

Prøvematerialet blev afsendt fra Billund den 11. april 2006 og ankom til Kemron den 15. april 2006. Materialet blev under transport og lagring opbevaret i en nedkølet container.

3.2.2 Modtagelse og homogenisering

Kemron opbevarede prøverne ved 4 °C i mørke. Til homogenisering blev udelukkende anvendt sediment fra den største dybde (8-8.6 m u.t.).

Homogeniseringen foregik i en blandingsbeholder i rustfrit stål under blid omrøring, så varmeudvikling blev undgået.

Efter homogeniseringen blev prøven igen opbevaret ved 4 °C i mørke indtil udtagelse af delprøver til forsøg.

3.2.3 Karakterisering

Prøver blev udtaget til bestemmelse af følgende parametre:

<u>Parameter</u>	<u>Metode</u>
Vandindhold og faststofindhold	ASTM D2216
Total densitet	ASTM D2937
Tørdensitet	Beregnet
pH	EPA Method 9045C
Densitet af mineraler	ASTM D854
Porøsitet	Beregnet
Vandmætning	Beregnet
TOC	EPA Method 9060
Ionbytningskapacitet	EPA Method 9081

Disse prøver blev analyseret på Kemrons eget laboratorium.

3.2.4 pH bufferkapacitet

En prøve med 60 g sediment og 20 ml grundvand blev titreret med en 1.0 M NaOH - opløsning. For hvert trin blev tilsat 0,1 ml NaOH, og pH blev målt under omrøring indtil stabilt udslag. Efter tilsætning af 4 ml NaOH blev mængden af NaOH per trin gradvist øget, indtil 35 ml NaOH var tilsat, og pH var nået over 13.

3.2.5 Hydrolyseforsøg

Fire 1-liters mørke glasflasker blev hver tilsat 600 g sediment og 200 grundvand og omrørt omhyggeligt med skeer i rustfrit stål. Hver af de fire batches blev prøvetaget og prøverne sammenblandet. Denne prøve er baggrundsprøven for hydrolyseforsøgene. To af batchene blev herefter tilsat 11 ml 1 M NaOH i en mængde svarende til titrering til pH 10 (bestemt ud fra pH bufferkapaciteten).

To batche blev inkuberet ved 10 °C i køleskab. De andre to ved 70 °C i en ovn. Alle batche blev inkuberet i 7 dage, med daglig inspektion og måling af udviklede gasser og pH. For at minimere forstyrrelsen af batchene, blev der brugt 7 mini-reaktorer pr. batch til bestemmelse af pH. Disse indeholdt 12 g sediment og 4 ml grundvand, og en af disse blev åbnet dagligt og målt, hvorefter den ikke blev anvendt længere.

Hver batch blev forsynet med skruelåg og teflon septum. Dagligt blev en nål, som havde forbindelse til en ventil og en tedlar-pose til opsamling af udviklede gasser, indsat gennem septum. Da der ikke blev observeret synlig gasudvikling blev denne praksis ikke foretaget yderligere efter den første dags forsøg på måling.

Trykmåling var planlagt, men da der ikke var nogen synlig udvidelse af tedlarposerne, blev disse ikke foretaget, og det blev konkluderet, at der ikke var trykopbygning.

Følgende parametre blev målt eller forsøgt målt på headspace i batchene: VOC, H₂S, SO₂, O₂, LEL, SO, H₂, CH₄, NO, NO₂, CO, og CO₂. Analysemetoder fremgår af bilag I.

Det skal nævnes, at de målte parametre er meget usikre, da manglen på gasdannelse gjorde, at Kemron kun kunne måle på headspace. Dette medførte en fortynding af luften i batchene, idet en delprøve blev udsuget af måleinstrumentet. Derfor er de aktuelle niveauer ikke korrekte, og gasmålingerne bør opfattes som screening-niveau data.

Efter 7 dages inkubering blev batchene afkølet til 4 °C. Vandprøver blev udtaget og frosset for senere analyse. Sedimentprøver blev udtaget og ekstraheret for analyse af organiske parametre (på Cheminova – se bilag J) og Hg (hos Kemron – se bilag I). Resterende sediment blev opbevaret adskilt i køleskab indtil forsendelse.

3.2.6 Termiske reaktorforsøg

Hver reaktor bestod af en rustfri stålboks med dimensionerne (L x B x H) 20 cm x 10 cm x 7.5 cm. Gennem låget var studser (i enderne til gennemstrømning med vand eller damp) og termofølere. Hver reaktor blev pakket tæt med ca. 1.500 g sediment og vand i forholdet 3 g sediment per 1 ml grundvand. Billeder fra forsøgsopstillingen fremgår af Bilag I.

Temperaturen i midten af hver reaktor blev målt hvert 15. minut.

Til reaktorerne ved 70 og 90 °C blev henholdsvis 4 og 8 porevolumener (3-6 liter) grundvand opvarmet til 70 og 90 °C og langsomt pumpet gennem reaktorerne over 7 dage. Kemron har oplyst, at der er opsamlet 3111 og 5968 g

væske fra forsøgene ved hhv. 70 og 90 °C, svarende til 4.6 og 8.9 porevolumener. Dette er klart mindre end planlagt for forsøget ved 70 °C. Ingen af forsøgene blev udført ved for stort vandflow og kan derfor ikke anses for at overvurdere effektiviteten.

Luft blev brugt til at skabe tryk i vandbeholderen, så vandet strømmede gennem reaktoren. Reaktorerne blev opbevaret i ovne fastholdt ved forsøgstemperaturerne.

Reaktoren behandlet ved 100 °C fik tilført damp dannet ved at koge destilleret vand i en separat ovn ved ca. 120 °C. Vandet blev doseret af en peristaltisk pumpe, og selve fordampningen foregik i et loop i ovnen. Der blev kogt vand svarende til ca. 2 porevolumener vand (1300 ml), og dampen ledtes gennem reaktoren kontinuert over forsøgsperioden på 7 dage. Det er ikke lykkedes at få sikre data for mængden af opsamlet kondensat ved forsøget ved 100 °C, idet Kemrons notater er modstridende. Den mest pålidelige værdi for den faktiske gennemskylning er 1794 g (~ 2.7 porevolumener), hvilket er tilfredsstillende under de givne omstændigheder. Reaktoren blev opbevaret i en ovn ved 100 °C.

Reaktoren behandlet ved 300 °C blev opbevaret i en ovn opvarmet over en periode på ca. 24 timer. Der blev ledt en meget svag strøm af luft gennem reaktoren (0.5 l/min), svarende til langsom ventilering under feltskala ISTD. Fra denne reaktor blev opsamlet ca. 420 mL kondensat, svarende til udtørring og et startindhold af vand på ca. 0,63 porevolumen.

Samtlige reaktorer var forsynet med rustfrie stålrør og kondensationskammer til opsamling af vand, damp, og luft. Det opsamlede materiale blev ikke analyseret grundet budgetbegrænsninger.

Efter inkubering/termisk behandling blev reaktorerne afkølet til 4 °C over en periode på 8 timer og sedimentet prøvetaget. Alt sedimentet fra hver reaktor blev blandet grundigt. Delp prøver blev udtaget til analyse for Hg, og delp prøver blev ekstraheret for analyse af organiske stoffer. Resterende sediment blev opbevaret adskilt i køleskab.

3.2.7 Forsendelse af prøvematerialer

Alle sedimentprøver blev opbevaret mørkt ved 4 °C indtil forsendelse og ved temperaturer mindre end 10 °C under forsendelsen. De frosne vandprøver kunne tø under transporten, men blev omgående frosset eller ekstraheret efter ankomsten til Cheminova. Dette forventes ikke at have ført til målbare ændringer af prøvernes indhold af forurening.

3.2.8 Analyse for Hg

Sedimentets indhold af kviksølv (Hg) blev målt på Kemron laboratoriet i henhold til standardmetoden EPA Method 7470.

3.2.9 Ekstraktion for senere analyse

Hos Kemron blev sedimentprøver ekstraheret som følger:

- 1 gram sediment blev udtaget i prøveglas.
- 10 ml 3.5 % NaCl blev tilsat.
- 2 ml isopropylacetate (IPA) blev tilsat.

Prøven blev lukket med tæt låg og ekstraheres under rotation i 1 time. IPA ekstraktet blev afpippeteret og efterfølgende opbevaret i glas med Teflonlinet låg i køleskab.

Som det fremgår af bilag I, gik mange af disse prøver i stykker under transporten til Danmark, og i stedet blev ekstraktionerne gentaget på Cheminova på prøver af det ekstra sedimentmateriale, som Kemron havde arkiveret. Det vil sige, at samtlige nedenfor præsenterede analyseresultater er udført af Cheminovas Spildevandslaboratorium. Analyseresultater er vedlagt i Bilag J.

3.2.10 Analyse hos Cheminova

Cheminovas Spildevandslaboratorium har udført analysearbejdet efter virksomhedens sædvanlige praksis. På grund af arbejdspress har det ikke været muligt for Cheminova Spildevandslaboratorium at afse tid til udarbejdelse af konkret beskrivelse i forbindelse med afrapporteringen.

3.3 Resultater

3.3.1 Fysiske parametre

De følgende fysiske data blev målt:

<u>Parameter</u>	<u>Resultat</u>
Vandindhold	19.0 %
Faststofindhold	84 %
Total densitet	1.64 kg/L
Tørdensitet	1.96 kg/L
pH	5.8
Densitet af mineraler	2.7
Porøsitet	39 %
Vandmætning	80.5 %
TOC	2740 mg/kg
Ionbytningskapacitet	<10 meq/100g

3.3.2 pH bufferkapacitet

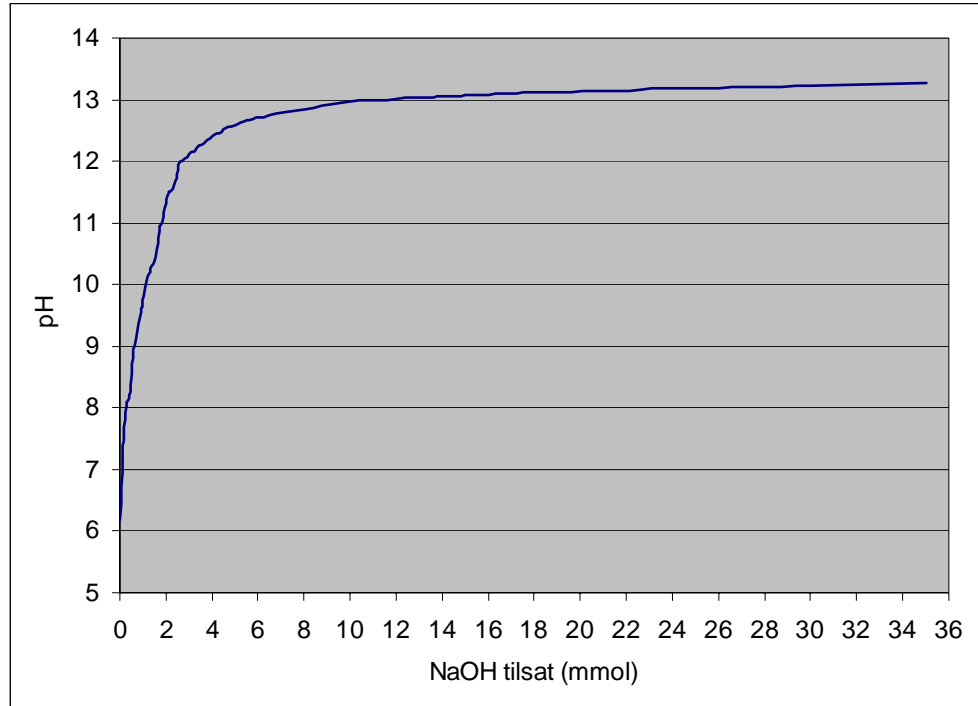
Figur 3.1 viser resultatet af titreringen til bestemmelse af pH bufferkapacitet. Start-pH var 6.18.

Følgende pH bufferkapaciteter blev bestemt (meq = milli-ækvivalenter):

pH 8: 0.005 meq/gram
pH 10: 0.019 meq/gram
pH 12: 0.045 meq/gram
pH 14: over 0.6 meq/gram.

Titreringen blev afsluttet ved pH 13.3, idet mere end 35 ml 1 M NaOH var tilsat, og meget små pH-ændringer blev observeret ved yderligere titrering.

Figur 3.1 Resultat af titrering af 60 g sediment og 20 ml grundvand med 1.0 M NaOH.

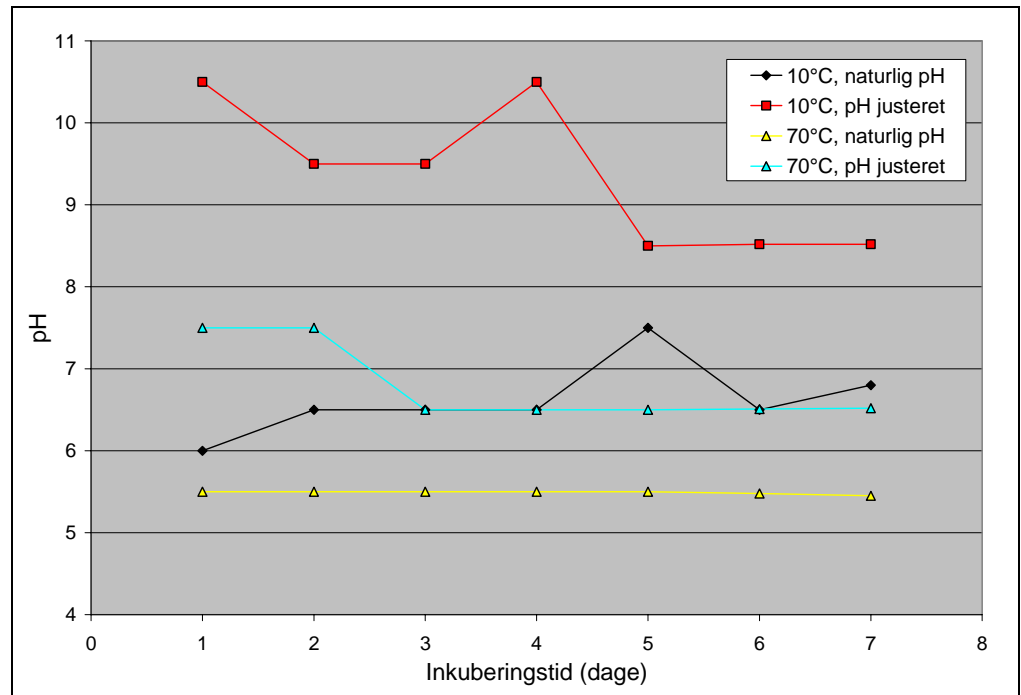


3.3.3 Hydrolyseforsøg

3.3.3.1 pH målinger

Figur 3.2 viser pH målt i mini-batchene.

Figur 3.2 pH målt i mini-batches under hydrolyseforsøgene.



De to batches uden NaOH-tilsætning har pH mellem 5,5 og 7,5, uden tydelige trends i udviklingen. Ved 10 °C synes pH-justeringen at have virket, og pH falder til ca. 8,5 efter 5 dages inkubering. I den justerede batch ved 70 °C er pH faldet til 7,5 allerede inden den første måling (efter ca. 24 timers inkubering). Derefter falder den yderligere til 6,5 og stabiliseres. Det skal for en ordens skyld understreges, at der ikke er tilsat NaOH til de pH justerede prøver i selve inkuberingsperioden.

Hydrolyse af færdigvarerne parathion, methylparathion, malathion og sulfotep medfører som nævnt i afsnit 2 en spaltning af stofferne, og der dannes polære stoffer. Hydrolyse af parathion og methylparathion medfører dannelse af paranitrofenol og henholdsvis EPe-syre og MP2-syre, mens hydrolysen af malathion kan medføre dannelse af MP1-syre og Iso MP1-syre. Hydrolyse af sulfotep medfører dannelse af EP2-syre, således at ét sulfotep molekyle spaltes til to molekyler af EP2-syre. Hydrolysen af færdigvarer danner således de omtalte P2-syrer samt MP1-syre og Iso MP1-syre, som dermed medfører et fald i pH. En konsekvens er, at hydrolysen har negativ feedback; når der omdannes stof, falder pH, og hastigheden af hydrolysen falder og hydrolysen går evt. helt i stå. Derfor har den øgede temperatur ikke den ønskede effekt, medmindre der konstant tilføres base for at holde pH oppe.

Disse forsøg var ikke designet til at bestemme den nødvendige tilsætning af base for at gennemføre en fuldstændig hydrolyse af færdigvareindholdet.

3.3.3.2 Sedimentanalyser

Tabel 3.4 viser resultaterne af sedimentanalyser for hydrolyseforsøgene.

Tabel 3.4 Resultat af sedimentanalyser for hydrolyseforsøg, PNF og færdigvarer (mg/kg VV).

Prøve	Tri-estre	Para-nitrofenol	Methyl-parathion	Ethyl-parathion	Ma-lathion	Ethyl-sulfotep
Ubehandlet	ja	60	280	2.500	210	110
10 °C	ja	100	1.200	11.000	870	480
10 °C, pH 10	ja	70	1.000	9.000	770	410
70 °C	ja	100	330	5.800	310	240
70 °C, pH 10	ja	260	310	9.900	300	410

De påviste indhold i prøverne udviser store variationer. Det vurderes, at disse variationer ikke kan tilskrives hydrolyseforsøgene, men må skyldes følgende fejlkilder:

- Det har ikke været muligt at homogenisere udgangssedimentet tilstrækkeligt til, at forureningen med fri organisk fase og residual fri organiske fase er fordelt ensartet.
- Cheminova har observeret, at der forekom organisk svæv i én af prøveflaskerne fra hydrolyseforsøgene. Det er således risiko for, at sedimentet, som er blevet udtaget til analyse, kan have indeholdt organisk svæv, som typisk er karakteriseret ved et højt indhold af færdigvarer.

På baggrund af ovennævnte fejlkilder er det ikke muligt at foretage en nærmere fortolkning af analyseresultaterne for sedimentet fra hydrolyseforsøget.

3.3.3.3 Vandanalyser

I tabel 3.5 vises indhold af udvalgte nedbrydningsprodukter i vandprøver fra hydrolyseforsøgene. Det er valgt at fokusere på indhold af disse nedbrydningsprodukter, da koncentrationsstigninger af stofferne i forhold til den ubehandlede prøve kan tilskrives hydrolyse af omtalte færdigvarer, jf. afsnit 2.

Tabel 3.5 Indhold af udvalgte nedbrydningsprodukter fra hydrolyseforsøget i vandprøver (mg/l).

Prøve	MP2 syre	MP1	Iso-MP1	EP2 syre	EP1
Blank vandprøve	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1. pH #, 10 °C	59	5	46	190	<0,1
2. pH 10, 10 °C	28	3	22	130	<0,1
3. pH #, 70 °C	70	4	380	152	4
4. pH 10, 70 °C	140	27	700	185	11
5. Baggrund (ikke inkuberet)	54	3	36	92	<0,1

Det fremgår af tabel 3.5, at indholdet af EP2-syre og MP2-syre stiger markant i forsøgene udført ved 70 °Celsius, og at indholdet ved denne temperatur er højest ved pH 10. Det er således tydeligt, at omfanget af nedbrydning af færdigvarer er stigende med temperatur og pH.

Det ses endvidere, at indholdet af EP1, MP1 og Iso MP1 ligeledes stiger markant i vandet for forsøgene udført ved 70 °C, og at indholdet ved denne temperatur er højest ved pH 10. Dannelsen af EP1 kan muligvis tilskrives nedbrydning af triestre.

3.3.3.4 Gasanalyser

Der blev ikke konstateret opbygning af tryk i batchene ved de daglige inspektioner med nål og tedlar-pose. I stedet blev gasserne målt ved at indsætte prøvetagningsstuds i glasset (headspace måling). Dette førte til, at prøven er fortyndet med atmosfærisk luft under målingen og har begrænset mængden af målinger, der har kunnet foretages. Derfor er de målte koncentrationer af gasser meget usikre.

Resultaterne af gasanalyserne er vist i bilag I. Generelle beskrivelser følger:

VOC	Tendens til højere værdier (over 1000 ppmv) ved 70 °C, men en del variation.
H ₂ S	Tendens til højere værdier (over 10 ppmv) ved 70 °C, men en del variation. Meget lave værdier (under 5 ppmv) ved 10 °C.
SO ₂	Tendens til højere værdier (over 20 ppmv) ved 70 °C, men en del variation.
O ₂	Alle prøver målt til 20,9 %, hvilket svarer til atmosfærisk luft.
LEL	Usystematisk variation med værdier på 100 % for enkelte batche.
SO	Ikke detekteret.
H ₂	Ikke detekteret.
CH ₄	Alle målinger undtagen 1 under 5 ppmv.
NO	Tendens til højere værdier (over 100 ppmv) ved 70 °C, men en del variation.
NO ₂	Alle værdier under 5, en del variation.
CO	Høje værdier dag 3, 4, 6 og 7 (over 300 ppmv), men usystematisk variation.
CO ₂	Stor variation og tendens til, at der er mindre i de pH-justerede prøver.

Bemærk, at en LEL på 100 % betyder, at luften er eksplosionsfarlig i henhold til den anvendte metode.

3.3.3.5 Opsamling og diskussion

Hydrolyseforsøgene viser, at der foregår en nedbrydning af færdigvarer som følge af temperaturstigning, og at nedbrydningen øges ved højere pH.

Hydrolyseforsøget har endvidere vist, at indholdet af færdigvarer i sediment ikke er blevet markant reduceret over de 7 dages inkubering. Dette skyldes sandsynligvis, at pH hurtigt faldt i batchene i starten af inkuberingen, og denne forsuring fik hydrolysen til at gå i stå.

Gasmålingerne viste, at der kan dannes uorganiske gasser under hydrolysen og termisk behandling. Der frigives eller dannes VOC, H₂S, SO₂, NO og CO. Der er klar tendens til, at koncentrationer er højest ved inkubering ved 70 °C. Umiddelbart synes der ikke at dannes eller frigives SO, H₂, CH₄, eller NO₂.

På grundlag af disse målinger, med usikkerheden taget i betragtning, konkluderes det, at dannelse af gasser under termisk oprensning er sandsynlig. Det er derfor nødvendigt med god pneumatisk kontrol under en evt. oprensning, og det anbefales at der sikres mod eksplosioner under opvarmningen i både rør-systemer og behandlingsanlæg.

3.3.4 Reaktorforsøg

3.3.4.1 Inkubering og observationer

Forsøgene forløb som planlagt og er beskrevet i bilag H og I. Det skal bemærkes, at forsøget ved 90 °C oprindeligt var planlagt som et forsøg ved 70 °C, men en fejl i termoføleren gjorde, at denne reaktor blev behandlet ved ca. 90 °C, med en kort periode omkring 100 °C. 90 °C forsøget er således et ekstra forsøg i forhold til det planlagte.

3.3.4.2 Sedimentanalyser

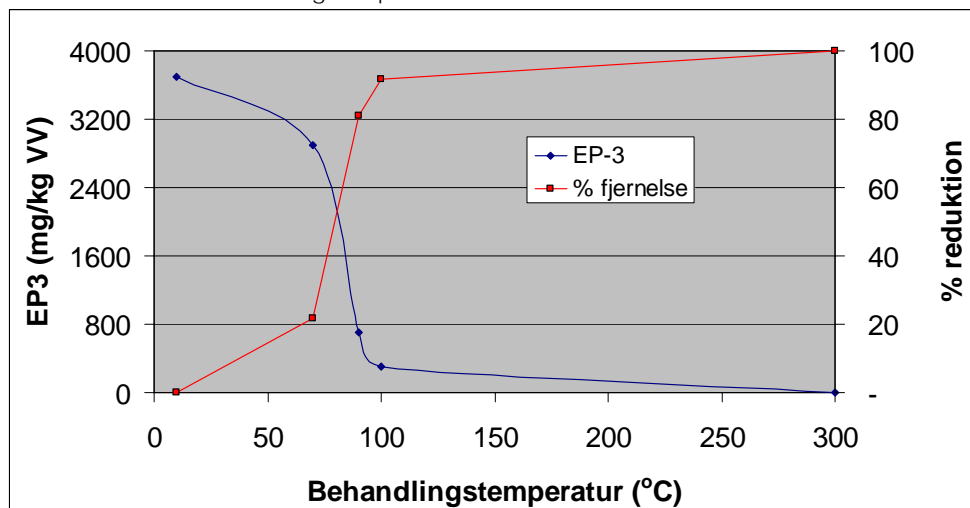
Tabel 3.6 viser resultaterne af sedimentanalyser for reaktorforsøgene med hensyn til triestre (kvalitativ) og færdigvarer (kvantitativ).

Tabel 3.6 Resultat af sedimentanalyser for reaktorforsøg (mg/kg VW).

Prøve	Triestre	Methyl-parathion	Ethyl-parathion	Malathion	Ethyl-sulfotep
Ubehandlet	ja	400	3.700	300	160
70 °C (varmt vand)	ja	160	2.900	160	110
90 °C (varmt vand)	meget lidt	<0,1	700	<0,1	<0,1
100 °C (damp/ISTD)	intet	<0,1	300	<0,1	<0,1
300 °C (ISTD)	intet	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Det fremgår af tabel 3.6, at indholdet af færdigvarer generelt falder markant med stigende temperatur. Temperaturen betydning for fjernelsen af ethyl-parathion vises i figur 3.3.

Figur 3.3 Koncentration af ethyl-parathion og procent reduktion i reaktorforsøgene som funktion af behandlingstemperatur.



Resultaterne af sedimentanalyser for reaktorforsøgene for indhold af polære stoffer vises i tabel 3.7.

Tabel 3.7 Koncentration af polære stoffer i sediment fra reaktorforsøg (mg/kg VV).

Prøve	Paranitro-fenol	MP1	MP2-Syre	EP1	EP2-Syre
Ubehandlet	96	1.2	12.7	1.7	28
70 °C (varmt vand)	124	7.7	7.7	6.9	49
90 °C (varmt vand)	1.700	0.3	<0,1	2	1.9
100 °C (damp/ISTD)	310	0.3	2.1	6	51
300 °C (ISTD)	0.7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Det fremgår af tabel 3.7, at indholdet af PNF stiger markant i 90 °C prøven i forhold til 70 °C, mens koncentrationsudviklingen er omvendt for P2'erne. Begge prøver er gennemskyllet af 10 porevoluminer svarende til 6 liter grundvand. Dette kan indikere, at P2-syrer ikke er helt så stabile ved 90 °C som forventet.

Sidstnævnte stoffer vil derfor muligvis ikke opkoncentreres i porevandet inden for spunsen i forbindelse med en behandlingstemperatur på omkring 90 °C, hvilket gør det lettere at behandle det ekstraherede grundvand.

Det skal endvidere bemærkes, at opløseligheden af PNF i vand varierer med temperatur (16 g/l ved 25 °C og 270 g/l ved 90 °C). Samtidig er smeltepunktet for PNF 112 grader. Det kan således ikke udelukkes, at koncentrationen af PNF i grundvandet kan tænkes at blive så høj, at der vil udfældes PNF på fast form, hvis varmt grundvand afkøles i forbindelse med vandrensningen.

Tabel 3.8 viser analysedata for kviksølv (Hg) for reaktorforsøgene.

Tabel 3.8 Koncentrationen af Hg i sediment og opsamlet væske fra reaktorforsøg.

Prøve	Hg koncentration (mg/kg)	Hg koncentration i opsamlet kondensat/vand (mg/L)
Ubehandlet	42.9	Ikke målt
70 °C (varmt vand)	86.5	0.00346
90 °C (varmt vand)	45.0	0.00593
100 °C (damp/ISTD)	42.7	0.012
300 °C (ISTD)	6.0	0.718

Værdien for 70 °C er ikke umiddelbart til at forklare, idet den er ca. dobbelt så høj som koncentrationen i det ubehandlede sediment. Det er ikke afklaret, om Hg i sedimentet er bundet til organisk stof eller fordelt mere homogent, men forholdet må sandsynligvis tilskrives en uensartet fordeling af Hg i sedimentet. Generelt ses der kun en reduktion i Hg koncentrationen ved behandling ved 300 °C (ca. 85% reduktion).

3.3.4.3 Opsamling/diskussion

Der ses en klar reduktion i koncentrationen af færdigvarer med øget behandlingstemperatur. Ved 300 °C er alle stoffer under detektionsgrænserne (0,1 mg/kg VV). Behandlingen ved 90 og 100 °C reducerer koncentrationen af malathion, methyl-parathion og ethyl-sulfotep til under detektionsgrænsen. For ethyl-parathion opnås ca. 81 % og 92 % reduktion inden for en uges behandling ved 90 og 100 °C. Behandlingen ved 70 °C giver begrænset reduktion i COC koncentrationerne, med størst reduktion af methylparathion (60 %) og malathion (47 %).

Sammenlignes resultaterne for reaktorforsøgene ved henholdsvis 70 °C og 90 °C, fremgår det for 90 °C forsøget, at koncentrationen af para-nitrofenol stiger, mens indholdet af P1- og P2-syrer falder.

Dampinjektion giver anledning til mere effektiv reduktion end cirkulation af varmt vand. Det skal bemærkes, at koncentrationsfaldet i P1- og P2-syrer ved temperaturer omkring 90 °C bør studeres nærmere i et evt. pilotforsøg.

Termisk behandling ved temperaturer på eller under 100 °C ændrede ikke mærkbart på sedimentets indhold af Hg. Ved 300 °C blev koncentrationen reduceret ca. 85 %.

Som allerede nævnt har det vist sig, at indholdet af færdigvarer ikke fordeler sig jævnt i det homogeniserede materiale. Det betyder, at det overordnet må antages, at de konkrete indhold af færdigvarer og polære stoffer i udgangsmaterialet for såvel ubehandlede som behandlede sedimentprøver kan variere en del. På baggrund af de omfattende undersøgelser udført ved Høfde 42 vurderer NIRAS, at indholdet af færdigvarer i hotspot området typisk ligger på mellem 3.000 til 20.000 mg/kg vådvægt. Det vil sige, at det derfor er nødvendigt at tage forbehold for de ovenfor angivne massereduktioner for færdigvarer.

Der foreligger ikke vandanalyser for grundvandet, der er ledt igennem reaktorforsøgene ved 70 °C og 90 °C. Vandets indhold af paranitrofenol (og P2-syrer) kan indikere massereduktionen af parathion og methylparathion, da hydrolyse af et molekyle af henholdsvis parathion og methylparathion medfører dannelse af et molekyle paranitrofenol. I nedenstående beregning fremgår en relativt grov sammenligning mellem et bud på PNF indholdet i porevandet

med fjernelsen af (et bud på) den samlede mængde parathion og methylparathion i sedimentprøverne for reaktorforsøgene ved 90 °C.

Tabel 3.9 Beregning af PNF-mængder

Parameter	Molar masse	M(parameter)/M(PNF)
Parathion (EP3)	291,26	2,09
Methylparathion (MP3)	263,21	1,89
Paranitrofenol (PNF)	139,11	

Antagelser/forudsætninger

Der er målt 1.700 mg PNF/kg VV i sedimentet ved 90 grader reaktorforsøget, hvor det antages, at PNF primært er opløst i vandfasen.

Vandet udgør ca. $(0,3 \text{ kg/l}/1,9\text{kg/l}) \cdot 100 \% = 16$ vægtprocent per kg VV, hvilket medfører et PNF indhold i vandet på $(1.700/0,16)\text{mg/l} = 10.767 \text{ mg/l}$.

Det antages, at PNF indholdet, som er målt i sediment/vand efter hydrolyseforsøget, svarer til koncentrationen af PNF i porevandet efter passage af reaktoren.

Der er ledt 10 porevoluminer grundvand igennem reaktoren svarende til 6 liter, hvor grundvandet initielt indeholder ca. 100 mg PNF/l. Der er således dannet $(6 \text{ liter} \cdot ((1.700 - 100)/0,16) \text{ mg PNF/l}) = 60.000 \text{ mg PNF}$ under forsøget.

Mængden af PNF, hvis alt EP3 og MP3 i sedimentet hydrolyseres.

Parameter	Indhold i mg/kg vv	Masse af sediment i reaktor (kg)	Masse i reaktor (mg)	Ækvivalent i PNF, hvis alt EP3 og MP3 er hydrolyseret (mg)
EP3 (*)	10.000	2,85	28.500	13.612
MP3 (*)	1100	2,85	3.135	1.657
				15.269

(*) Der er oprindeligt målt følgende koncentration af EP3 og MP3 i sediment umiddelbart efter prøvetagning ved Høfde 42

Den grove masseberegning viser, at der dannes omtrent 4 gange så meget PNF, som det er muligt at få dannet, hvis alt EP3 og MP3 hydrolyseres. På baggrund af de forskellige antagelser og usikkerheder viser beregningerne dog, at størrelsesordenne i den udførte masseberegning er sammenhængende. I forbindelse med et evt. pilotprojekt bør der sikres en dataindsamling, som kan danne grundlag for opstilling af mere præcise massebalancer.

3.3.5 Måling af varmeudvikling i reaktorforsøg

Temperaturudviklingen er fulgt i reaktorforsøg (såvel inde i ovnen som inde i selve søjlen), jf. bilag I. Der er registreret uregelmæssigheder i temperaturmålingerne, men disse er systematiske og skyldes placering og kalibrering af termofølere. Der er ikke umiddelbart observeret tegn på eksotheme processer i form af kortvarige "toppe" i jordtemperaturen uden tilsvarende stigning i ovntemperaturen.

3.4 Ny viden fra treatability forsøg

Dette afsnit opsummerer fortolkningen af treatability forsøgene og perspektiver for fuld-skala oprensning ved Høfde 42.

3.4.1 Oprensningsprocesser og effektivitet som funktion af temperatur

3.4.1.1 Hydrolyse

Det vurderes, at termisk assisteret basisk hydrolyse ikke er en velegnet metode til fuld-skala oprensning. Reaktionen, der nedbryder færdigvarer, danner også syre og forbruger base (NaOH). De udførte forsøg viste forøgede rater ved 70 °C, men ikke en fjernelses-procent, som tyder på effektiv fuld-skala oprensning med mindre større mængder base tilsættes. Sådanne forsøg blev ikke udført, og den samlede mængde base, som kræves til fuldstændig oprensning, er derfor ikke bestemt.

3.4.1.2 Opvarmning til 300 °C (ISTD med udtørring)

Reaktorforsøgene viser, at termisk behandling ved 300 °C vil medføre en fuldstændig fjernelse af de målte organiske stoffer, og ca. 85% reduktion i koncentrationen af Hg. I felten kræver dette, at hele behandlingsområdet afvandes, så temperaturer over kogepunktet kan opnås. En sådan afvanding vil være yderst vanskelig og kræve oppumpning af store mængder grundvand til behandling. Desuden er det sandsynligvis ikke nødvendigt med 100 % stoffjernelse, idet der forekommer en restforurening med færdigvarer og nedbrydningsprodukter uden for spunsen, som ikke vil blive fjernet.

Derfor er det interessant at belyse, hvor stor en effekt man kan forvente uden afvanding, og ved lavere temperaturer.

3.4.1.3 Opvarmning til 100 °C (dampinjektion med/uden ISTD)

Opvarmning til 100 °C og gennemskylning med damp førte til reduktion af koncentrationerne af færdigvarer (92 % for ethyl-parathion og fjernelse til under detektionsgrænsen for øvrige stoffer). Den forventede effekt i felt-skala er endnu større, sandsynligvis kan ethyl-parathion ved længere tids behandling elimineres helt. Det skal bemærkes, at denne behandling ikke reducerer koncentrationen af Hg i sedimentet.

Denne metode er relativt simpel og har været anvendt i Danmark. Den loven- de effektivitet kombineret med den etablerede danske erfaring med metoden gør dette til den mest lovende af de termiske metoder, når formålet med oprensningen er en væsentlig massereduktion af færdigvarerne.

3.4.1.4 Opvarmning til 90 °C (varmt vand suppleret med ISTD eller dampinjektion)

Opvarmning til 90 °C og gennemskylning med varmt vand førte til reduktion af koncentrationerne af færdigvarer (81% for ethyl-parathion og fjernelse til under detektionsgrænsen for øvrige stoffer). Den forventede effekt i felt-skala er større, sandsynligvis kan ethyl-parathion ved længere tids behandling elimineres helt. En bekymring er, at koncentrationen af para-nitrophenol steg ca. 22 gange til 1.300 mg/kg i det behandlede sediment. Det skal bemærkes, at denne behandling ikke reducerer koncentrationen af Hg i sedimentet.

3.4.1.5 Opvarmning til 70 °C (varmt vand)

Opvarmning til 70 °C og gennemskylning med 10 porevoluminer varmt vand gav anledning til en reduktion af færdigvare-koncentrationerne mellem 22 og 60 % i reaktorforsøgene. Oprensningseffektiviteten var lavest for ethyl-parathion, som forekommer i størst koncentration (reduktion fra 3.700 til 2.900 mg/kg). Dette understøttes af hydrolyseforsøgene, som ikke gav anledning til drastiske reduktioner i sedimentkoncentrationerne.

3.4.2 Risiko for produktion af uønskede gasser samt eksplosion

Gasmålingerne viser, at der kan dannes uorganiske gasser under hydrolysen og termisk behandling. Der frigives eller dannes VOC, H₂S, SO₂, NO og CO. Der er klar tendens til, at koncentrationer er højest ved inkubering ved 70 °C. Umiddelbart synes der ikke at dannes eller frigives SO, H₂, CH₄, eller NO₂.

På grundlag af disse målinger, med usikkerheden taget i betragtning, konkluderes det, at dannelse af gasser under termisk oprensning er sandsynlig. Det er derfor nødvendigt med god pneumatisk kontrol under en evt. oprensning, og det anbefales, at der sikres mod eksplosioner under opvarmningen i både rør-systemer og behandlingsanlæg.

Det konkluderes, at der ved pilot- og fuld-skala oprensning bør tages forbehold for produktion af både organiske og uorganiske stoffer, som ved ophobning kan give anledning til koncentrationer over de eksplosive grænser. Derfor er ventilering og pneumatisk kontrol samt anlægstekniske tiltag til imødegåelse af eksplosionsrisici yderst vigtig for termisk oprensning ved Høfde 42.

Der er registreret uregelmæssigheder i temperaturmålingerne, men disse er systematiske og skyldes placering og kalibrering af termofølere. Der er ikke umiddelbart observeret tegn på exotherme processer i form af kortvarige "toppe" i jordtemperaturen uden tilsvarende stigning i ovntemperaturen. Monitoringen af varmeudviklingen i henholdsvis ovn og reaktor har således ikke observeret tegn på markante exotherme processer.

NIRAS har adspurgte Cheminova om virksomhedens erfaringer mht. stabiliteten af fx færdigvarer ved opvarmning og den udførte temperaturmåling i reaktorforsøgene er endvidere blevet diskuteret. Cheminova anbefaler således, at der udføres et mindre antal supplerende kalorimeterforsøg med svært forurennet sediment fra høfdedepotet. Cheminova har i den forbindelse anbefalet en række laboratorier i Europa, som har erfaringer inden for feltet.

Tabel 3.10 Opsummering af risiko for produktion af uønskede gasser og eksplosionsfare i sedimentmatrix.

Vurdering	Handling	Resultat
Exotherme processer	Temperaturudviklingen er fulgt i reaktorforsøg (såvel inden i ovnen som inden i selve søjlen). Resultaterne er drøftet med Cheminova.	Temperaturudviklingen er fulgt i reaktorforsøg (såvel inden i ovnen som inden i selve søjlen), jf. bilag I. Der er registreret uregelmæssigheder i temperaturmålingerne, men disse er systematiske og skyldes placering og kalibrering af termofølere. Der er ikke umiddelbart observeret tegn på eksotheme processer i form af kortvarige "toppe" i jordtemperaturen uden tilsvarende stigning i ovntemperaturen. Det vurderes samlet set, at der er behov et mindre antal supplerende screeningsforsøg.
	Trykudviklingen i batche er monitoreret under hydrolyseforsøg	Målt dagligt – ingen trykopbygning observeret, hvilket tyder på at exotherme processer ikke var betydelige.
Dannelse af eksplosionsfarlige gasser som følge af opvarmning	Der er indhentet oplysninger herom hos Cheminova og Ringkjøbing Amt	Der blev analyseret for en lang række stoffer på anbefaling af Cheminova og på baggrund af litteraturstudiet (Kapitel 2). Koncentrationen af flere af disse steg mærkbart, og LEL på 100% blev målt. Det konkluderes derfor, at der i feltskala skal etableres ventilation og sikres luftudskiftning, så disse stoffer ikke kan ophobes eller skabe overtryk. Dette er i øvrigt normal praksis i forbindelse med både damp og ISTD.
	Der er målt på en række gasser under treatabilityforsøgene: VOC, H ₂ S, SO ₂ , O ₂ , SO, H ₂ , CH ₄ , NO, NO ₂ , CO, og CO ₂ . Der er endvidere målt for LEL.	
Håndtering af evt. eksplosionsfarlige gasser i forhold til arbejdsmiljø og det omgivende miljø.	Der er fremkommet oplysninger om dannelse af eksplosionsfarlige gasser som følge af opvarmning, hvis betydningen er vurderet i forhold til arbejdsmiljø og det omgivende miljø.	Pneumatisk kontrol kombineret med monitoring i arbejdszonen anbefales, da treatability forsøgene viste, at gasser kan dannes. Dette er i øvrigt normal praksis i forbindelse med både damp og ISTD.
Dannelse af toksiske nedbrydningsprodukter (herunder stoffer på gasform) som følge af opvarmning	Der er indhentet oplysninger herom hos Cheminova og Ringkjøbing Amt	Det må forventes at en række toksiske nedbrydningsprodukter kan dannes. Kapitel 3 støtter dette. Der dannes både vandopløselige og gasformige nedbrydningsprodukter, som potentielt er toksiske. Derfor skal feltoprensning altid udføres med fokus på hydraulisk og pneumatisk kontrol. Dette er i øvrigt normal praksis i forbindelse med både damp og ISTD.
Håndtering af evt. toksiske nedbrydningsprodukter (herunder stoffer på gasform) i forhold til arbejdsmiljø og det omgivende miljø.	Der fremkommer oplysninger om dannelse af toksiske nedbrydningsprodukter som følge af opvarmning.	Behandlingsanlæg udføres, så det er yderst robust over for disse stoffer (Se kapitel 5). Der monitoreres før og efter behandlingsanlægget og i arbejdszonen og det eksterne miljø.

4 Matrice til screening af risikoreduktion i forhold til prisen på afværgelse

Dette kapitel præsenterer en matrice til at vurdere/estimere den relative reduktion i risiko for de mulige termiske løsninger ved Høfde 42, i relation til prisen for afværgeløsningen. Udarbejdelsen af den komparative matrice har til formål at identificere de/den mest lovende af de undersøgte termiske metoder. Der anvendes en række skøn og antagelser, som er præciseret i det følgende. Afslutningsvis vurderes de testede termiske metoder indbyrdes, og den mest lovende metode udvælges i forhold til forslag til eventuelt pilotprojekt.

4.1 Metoder og antagelser

Massereduktion er estimeret direkte ud fra % reduktion af ethyl-parathion koncentrationen i sediment fra reaktor-forsøgene. Andre færdigvarer er til stede i mindre mængde og fjernes mere effektivt. Resultater for Hg er ikke medtaget i denne vurdering, da Hg koncentrationen kun påvirkes væsentligt i forsøget ved 300 °C. Mængden af P1 og P2-syrer er heller ikke vurderet. Det skal derfor huskes, at dannelsen og fjernelse af disse stoffer skal medtages i den termiske løsning, der eventuelt vælges at arbejde videre med.

Mængder af færdigvarer over/under lerlag og inden for/uden for spuns er angivet i tabel 4.1 og tabel 4.2. De angivne værdier stammer fra [NIRAS, 2005], hvor forureningsmassen i høfdedepotet er estimeret for en række udvalgte parametre. Omtrent halvdelen af forureningsmassen, som er estimeret at være beliggende uden for spunsen, hidrører et mindre hotspot område placeret på forstranden umiddelbart syd for selve høfden.

Tabel 4.1 Massen af parathion beliggende over og under det indskudte lerlag [NIRAS, 2005].

Parameter	Over Tons	Under Tons	I alt Tons
Parathion	172	1,3	174

Tabel 4.2 Massen af parathion beliggende henholdsvis inden for og uden for den planlagte spuns. [NIRAS, 2005]

Parameter	Samlet forurening Tons	Inden for spuns A modificeret Tons	Uden for spuns A modificeret Tons	Inden for spuns A modificeret %
Parathion	174	171	2,8	98,4

I [NIRAS, 2005] er det endvidere estimeret, at langt hovedparten af massen af parathion forekommer i sandlaget beliggende mellem afgravningsniveauerne i henholdsvis 1971 og 1981 og oversiden af det indskudte ler-/gytjelag, jf. tabel 4.3.

Tabel 4.3 Fordeling af massen af parathion i sediment, grundvand og fri organisk fase [NIRAS, 2005].

	Sediment (*) Tons	Grundvand (**) Tons	Fri organisk fase Tons	I alt Tons
Over det indskudte lerlag	166	0,03	6,0	172
Under det indskudte lerlag	1,2	0,02	0,0	1,3
I alt	168	0,04	6,0	174

(*) Parathion vurderes at forekomme som dels residual fri fase og dels bundet til organisk materiale i kornmatrix.

(**) Opløst i grundvand.

Der antages følgende:

- At hvert kg færdigvarer har 10 gange større risiko for udsvivning til havet, hvis det ligger over det indskudte lerlag sammenlignet med, hvis det ligger under det indskudte lerlag.
- At færdigvarer uden for den nuværende spuns udgør 10 gange større risiko, end hvis det er inden for den nuværende spuns.
- At prisen på termisk behandling stiger 5 %, hvis der skal behandles såvel inden for den nuværende spuns som det mindre hotspotområde beliggende umiddelbart syd for selve Høfde 42, som er beliggende uden for spunsen. Denne stigning dækker over, at der skal behandles et større område, og at der skal etableres en ny spuns på ca. 75 m omkring det ekstra område. Arealet er ca. 450 m², sammenlignet med arealet inden for den nuværende spuns (21.000 m²). Dette er ca. 2 % af det eksisterende spunsareal.

Prisen på afværgescenarierne er estimeret/skønnet ud fra erfaringstal. Som et basisscenario antages en oprensning med damp over og under det indskudte lerlag inden for den nuværende spuns. Prisen for dette scenarium er i de relative sammenligninger med andre scenarier sat til 1 (basis-scenariet). Grove skøn er anvendt til estimering af relative priser til afvanding (nødvendigt for behandling ved 300 °C), anvendelse af ISTD, anvendelse af injektion af varmt vand, og forskel på størrelsen og type af behandlingsanlæg.

De følgende antagelser er anvendt til bestemmelse af effektiviteten for de enkelte scenarier:

- Opvarmning med cirkulation af varmt vand.
Temperaturen i oprensningsområdet overstiger ikke ca. 70 °C pga. køling og ekstraktion. Dette skyldes, at det i praksis er vanskeligt at injicere vand ved temperaturer over 90 °C, og at der er varmetab og opblanding med koldt grundvand. For at sikre hydraulisk kontrol opumpes altid mere vand, end der injiceres hvorfor det ikke kan forventes, at der opnås en gennemsnitstemperatur på over 70 °C. I felten vil reaktionstiden være længere end de 7 dage reaktorforsøget varede, men der vil også være mindre optimal opblanding. Det er også muligt, at mængden af reagerede færdigvarer er begrænset af dannelsen af syre, som reducerer pH og bremser hydrolyse-reaktionerne. Der er således ikke en solid basis for at hæve tallet for % reduktion fra laborato-

rie- til feltskala. Derfor anvendes tallene fra reaktorforsøget med en ca. 22 % reduktion i massen af parathion direkte. Dette kan være optimistisk, idet fuldstændig opblanding i feltskala ikke er sandsynligt.

- Dampinjektion over det indskudte lerlag, men uden opvarmning under laget.
Det antages, at gennemsnitstemperaturen kommer op på 90 °C, idet opdrift på damp og vand vil føre til mindre effektiv opvarmning i bunden af laget (hvor koldt vand kommer ind/op pga. den hydrauliske kontrol/aflastning). Toppen af laget kan opvarmes til 100 °C, men ikke hele lagets tykkelse. Størstedelen af færdigvarerne er i den nederste halvdel af laget over det indskudte lerlag. Derfor antages resultatet ved 90 °C at svare bedst til effektiviteten for dette scenarium. Dette svarer til 81 % reduktion i massen af parathion.
- Dampinjektion både over og under det indskudte lerlag.
Her anvendes resultaterne fra reaktorforsøget ved 90 °C i det nederste lag (82 % fjernelse), og resultaterne fra 100 °C i øverste lag (91 % fjernelse). Det vil være muligt at opnå damptemperaturer i det øverste lag pga. opvarmning af det indskudte lerlag med dampen, som injiceres nederst.
- ISTD behandling ved 100 °C.
Denne metode kan anvendes til opvarmning til 100 °C i hele intervallet, da varmelegemerne sættes ca. 1,5 m dybere end behandlingsdybden, både hvis der renses over og under det indskudte lerlag. Derfor anvendes 92 % reduktion i massen af parathion.
- ISTD behandling ved 300 °C
Her kræves afvanding for at opnå udtørring og opvarmning over damptemperatur. Dette er muligvis urealistisk under det indskudte lerlag, men scenarier er medtaget i beregningerne.

I matricen estimeres reduktion i risiko for hvert scenarium, den relative pris samt forholdet mellem disse. Herved fremkommer et tal mellem 0 (ingen risiko-reduktion i forhold til omkostningerne) og 100 (repræsenteret ved 100% risiko-reduktion ved en relativ udgift på 1). Det højeste tal viser scenarier, hvor udgiften giver anledning til den højeste risikoreduktion pr. krone.

4.2 Resultater

Screening-matricen er vist i Bilag K, og opsummeret i tabel 4.1.

Tabel 4.4 Resultat af screenings-matrix beregninger.

Scenarier inden for spunsen	% fjernet	% risikoreduktion	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
300 °C over og under lerlag (ISTD med afvanding over og under lerlag)	98	87	4,0	25	22
300 °C over lerlag, 100 °C under lerlag (ISTD hele dybden med afvanding over lerlag)	98	86	3,0	33	29
300 °C over lerlag, begrænset opvarmning under lerlag (ISTD og afvanding over lerlag)	98	84	2,5	39	34
100 °C over og under lerlag (ISTD)	91	80	2,0	45	40
100 °C over lerlag (ISTD)	90	76	1,5	60	50
100 °C over lerlag, 90 °C under lerlag (damp over+under)	90	79	1,0	90	79
90 °C over lerlag (damp)	79	66	0,9	88	73
70 °C over lerlag (varmt vand)	22	18	0,6	36	30
Scenarier inden for og uden for spunsen	% fjernet	% risikoreduktion	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
300 °C over og under lerlag (ISTD med afvanding over og under lerlag)	99,1	92,6	4,4	23	21
300 °C over lerlag, 100 °C under lerlag (ISTD hele dybden med afvanding over lerlag)	99,1	92,1	3,3	30	28
300 °C over lerlag, begrænset opvarmning under lerlag (ISTD og afvanding over lerlag)	98,8	89,6	2,8	36	33
100 °C over og under lerlag (ISTD)	91	85	2,2	41	39
100 °C over lerlag (ISTD)	91	81	1,7	55	49
100 °C over lerlag, 90°C under lerlag (damp over+under)	91	85	1,1	83	77
90 °C over lerlag (damp)	80	70	1,0	81	71
70 °C over lerlag (varmt vand)	22	19	0,7	33	29

Bemærk, at den maksimale reduktion af risikoen er 92,6 %, idet massen uden for både den etablerede spuns og den foreslåede udvidelse udgør ca. 7,4 % af den samlede risiko.

Det ses, at fjernelses-procenten varierer fra 99,1 % (behandling ved 300 °C inden for og uden for spunsen) til 22 % (varmt vand injektion over lerlaget). Ingen af disse ekstreme løsninger har en høj værdi for %fjernelse/pris eller risikoreduktion/pris. De høje værdier (over 50) forekommer, hvor der fokuseres på lag og områder med store mængder færdigvarer, og opvarmning til 90-100 °C.

Denne matrice-metode vil altid være behæftet med usikkerhed og afhænge meget af input-parametrenes nøjagtighed. I det følgende har vi anbefalet en praktisk termisk løsning med skelen til værdierne i matricen, men også med erfaringer og praktiske begrænsninger i betragtning.

4.3 Vurdering og valg af termiske metode til videre behandling

4.3.1 Hydrolyse og varmt vand cirkulation

Fjernelses-procenten for denne metode er ikke tilstrækkelig, selv hvis man antager, at den forøgede kontakttid i fuldskala medfører en væsentlig større reduktion i ethyl-parathion koncentrationerne end de målte 22 %. Desuden må det forventes, at varmt vand injiceret i permeabelt sand vil stige opad, hvilket kan medføre en dårlig kontakt med færdigvarerne, som er sunket til bunds som DNAPL. Denne metode er derfor ikke behandlet yderligere.

4.3.2 Opvarmning til 90 °C (varmt vand suppleret med ISTD, eller dampinjektion)

Opvarmning til 90 °C og gennemskylning med varmt vand førte til reduktion af koncentrationerne af færdigvarer (81 % for ethyl-parathion og fjernelse til under detektionsgrænsen for øvrige stoffer). Da en temperatur på 90 °C i feltet ikke umiddelbart kan opnås med injektion af varmt vand alene opnås den ved en kombination af cirkulation af varmt vand og ISTD eller ved dampinjektion.

Dampinjektion i et lag med høj permeabilitet og kold bund forventes at føre til opvarmning af den øvre del til 100 °C, men mindre effektiv opvarmning i lagets bund grundet dampens opdrift. Derfor regnes med en effektivitet svarende til 90 °C i det nederste lag, der behandles med damp.

For scenarier, hvor der skal behandles termisk under det indskudte lerlag, vurderes dampinjektion at være simple og billigere end kombineret varmt vand-ISTD.

4.3.3 Opvarmning til 100 °C (dampinjektion eller ISTD)

Dampinjektion kan alene anvendes til opvarmning til 100 °C i lag, hvor der også varmes nedenunder, hvilket hindrer, at bunden forbliver kold. Denne metode er relativt simpel og har været anvendt i Danmark. Den lovende effektivitet kombineret med den etablerede danske erfaring med metoden gør dette til den mest lovende af de termiske metoder, hvis der ikke nødvendigvis kræves 100 % fjernelse af færdigvarerne.

Tabel 4.1 viser høje værdier for % massefjernelse og % risikoreduktion for scenarierne med damp anvendt over og under det indskudte lerlag. I praksis vurderes det, at løsningen med damp i begge lag er den mest hensigtsmæssige, idet der sikres optimal behandlingsgrad over lerlaget, hvor færdigvarerne forventes at befinde sig som henholdsvis residual og fri DNAPL. Det er vigtigt at opnå damptemperatur i hele lagtykkelsen over det indskudte lerlag, så der kan etableres tryk-cykluser, som fører til opblanding af vand, færdigvarer og damp samt forøget forureningsfjernelse fra de mest finkornede dele af sedimentet.

4.3.4 Opvarmning til 300 °C (ISTD med udtørring)

Afvanding og termisk behandling ved 300 °C vil medføre en fuldstændig fjernelse af de målte organiske stoffer, og ca. 85 % reduktion i koncentrationen af Hg. I praksis kan afvanding være yderst vanskeligt og kræve oppumpning af store mængder grundvand til behandling. Den relativt høje pris på ISTD metoden skyldes, at varmelegemerne til opvarmning til 300 °C placeres med maksimalt 3 m's afstand, hvilket ville kræve mange tusinde varmeboringer. Derfor er tallene for reduktion divideret med pris relativt lave, og denne metode er ikke valgt til videre behandling.

4.3.5 Behandling over det indskudte lerlag eller både over og under

Da færdigvarerne er koncentreret i et 2-3 meter mægtigt sandlag beliggende umiddelbart over det indskudte lerlag, viser scenarierne med behandling over lerlaget størst risiko-reduktion relativ til pris. Men grundet mængden, der forventes at være under det indskudte lerlag, fjernes mere masse, når der behandles under dette.

Termisk behandling under lerlaget vil påvirke behandlingen oven over lerlaget positivt, idet varmen har en tendens til at stige. Hvis der f.eks. injiceres damp under det indskudte lerlag, opvarmes undersiden af lerlaget effektivt, og gennem eventuelle huller/revner i lerlaget vil der være en opadrettet strømning af damp i stedet for relativt koldt grundvand. Dette øger effektiviteten i laget over det indskudte lerlag. Derfor er opvarmning af det nedre lag fordelagtigt.

Det bør endvidere nævnes, at perforering/gennemboring af det indskudte lerlag i forbindelse med dampinjektion under det indskudte lerlag ikke umiddelbart vurderes at være problematisk i forhold til yderligere spredning af DNAPL. Dette skyldes, at temperaturen lokalt, hvor det indskudte lerlag gennembrydes, jo netop vil stige meget markant i forbindelse med injektionen af damp, hvorefter evt. mobiliseret DNAPL efterfølgende vil blive mobiliseret og oprenset.

4.3.6 Behandling inden for nuværende spuns og alternativt både indenfor og udenfor

Ved sammenligning af scenarierne med fjernelse af mellem 80 % og 95 % af færdigvarerne er risiko-reduktionen per krone størst for scenarier, hvor der også behandles uden for den nuværende spuns. Forskellen er dog lille (værdier på 79 % og 85 % for scenarierne med damp over og under det indskudte lerlag).

4.3.7 Valg af termisk løsning til viderebehandling

På baggrund af ovenstående vurderes det oprensningssmæssigt, økonomisk og praktisk mest optimale oprensningsscenario at være termisk behandling ved minimum 90 °C under det indskudte lerlag, og termisk behandling ved 100 °C over det indskudte lerlag.

En sådan oprensning kan opnås enten ved cirkulation af varmt vand og ISTD eller ved injektion af damp i begge lag. Da oprensningen ved hjælp af damp er velafprøvet/udviklet i fuld-skala i Danmark og desuden anses for billigere på den aktuelle sag er det i denne rapport valgt at arbejde videre med dette oprensningsskoncept.

Hvis der kun behandles inden for den eksisterende spuns fjernes ca. 90 % af massen af færdigvarer ved Høfde 42, og risikoen reduceres med ca. 79 %. Hvis området uden for den nuværende spuns inddrages, fjernes ca. 91 % af massen, og risikoen reduceres med ca. 85 %. Dette forventes at være en ønskelig forbedring på trods af den højere pris på denne løsning. Denne løsning har trods den højere pris den højeste samlede værdi for risikoreduktion/pris (81).

Det skal bemærkes, at andre termiske kombinationer kan være fordelagtige afhængigt af, hvordan effektivitet versus pris vurderes politisk. Eksempelvis er den valgte løsning ikke velegnet til reduktion af Hg koncentrationen i depotet, hvorimod behandling ved 300 °C viste ca. 85 % reduktion.

5 Termiske afværgeforanstaltninger ved høfdedepotet

I dette kapitel beskrives den valgte termiske løsning med opvarmning af det forventede kildeområde inden for den allerede etablerede spuns ved brug af damp, og en samtidig hydraulisk og pneumatisk kontrol i oprensningsperioden. Løsningens anlægsmæssige design samt hovedtrækkene i oprensningstrategien præsenteres, ligesom løsningens forventede forbrug af ressourcer i form af bl.a. energi skønnes. Der gives endvidere et prisoverslag over omkostningerne forbundet med gennemførelse af den præsenterede, termiske løsning, ligesom den forventede oprensningseffektivitet, kritiske elementer samt usikkerheder præsenteres.

I appendiks 1 er tilsvarende præsenteret for en løsning, hvor ISTD benyttes til oprensning af området inden for spunsen.

5.1 Koncept for fuldskalaoprensning

Konceptet for den planlagte fuldskalaoprensning præsenteres i det følgende.

5.1.1 Valg af areal og dybde

Der fokuseres på arealet inden for den allerede etablerede spuns, som omkranser den væsentligste del af forureningen i høfdedepotet. Arealet fremgår af figur 5.1.

Figur 5.1 Kort med forventet behandlingsareal. Copyright NDO Cowi



Der behandles termisk både over og under det indskudte lerlag. Forureningsmassen under det indskudte lerlag er langt mindre end massen over det indskudte lerlag, men ved injektion af damp under lerlaget opnås mulighed for en

delvis fjernelse af den forurening, som måtte have spredt sig under det indskudte lerlag. Samtidig medfører opvarmningen under det indskudte lerlag, at der med større sandsynlighed opnås en tilstrækkelig opvarmning af den frie fase, som der i visse dele af depotet er beliggende umiddelbart oven på det indskudte lerlag.

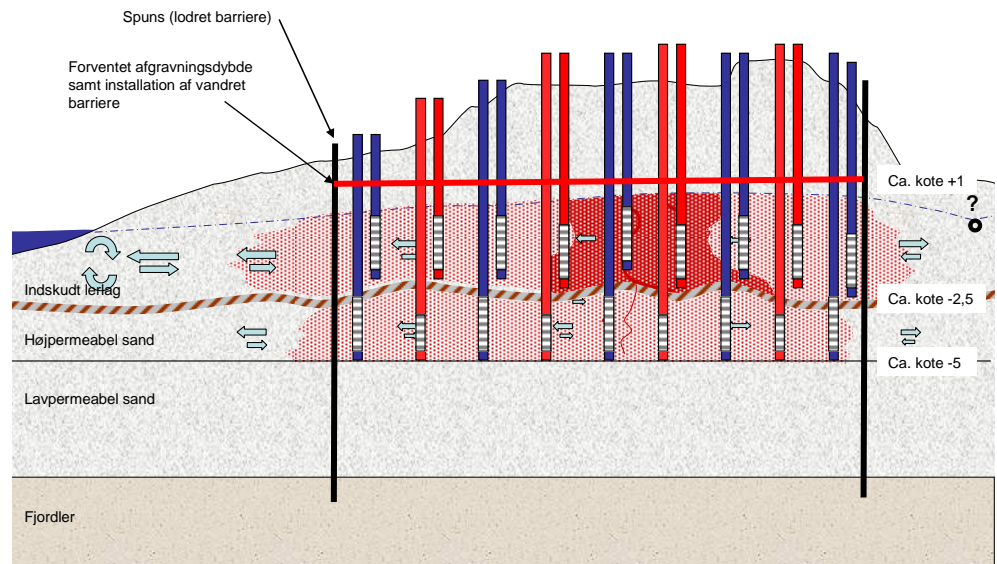
Det vurderes, at størstedelen af den forurening, der er beliggende under det indskudte lerlag, befinder sig i en zone svarende til ca. 2 m under det indskudte lerlag, idet permeabiliteten i det siltede og lerede sandlag mellem det indskudte lerlag og fjordleren er stærkt faldende med dybden (i retningen mod fjordleren). Endvidere vil også langt den største transport af forurening ske i de øvre 2 meter af sandlaget mellem fjordleren og det indskudte lerlag. På denne baggrund er det vurderet mest hensigtsmæssigt udelukkende at behandle de øverste 2 meter af sandlaget under det indskudte lerlag.

Endvidere vurderes det hensigtsmæssigt at nedgrave en luft- og vandtæt membran umiddelbart over afgravningsniveauet i 1981. Membranen skal udføres således, at den forbliver vand- og lufttæt i oprensningsperioden. Ved etablering af membranen opnås en langt større pneumatisk kontrol i oprensningsvolumenet, ligesom dampens udbredelse lettere kan kontrolleres med et deraf følgende mindre varmetab til følge. Samtidig forhindrer membranen, at oprensningsområdet afkøles af nedsivende regnvand. Membranen kan eksempelvis etableres af asfalt eller lignende.

Som udgangspunkt er det forudsat, at membranen etableres i ca. kote +1 ved afgravning af den uforurenede sand mellem den nuværende terrænoverflade og kote +1. Det indskudte lerlag har overside i ca. kote -2,5, mens den nedre afgrænsning af oprensningsvolumenet vurderes at være i ca. kote -5. Således forventes det totale oprensningsvolumen at strække sig fra kote -5 til kote +1.

I Figur 5.2 er præsenteret et konceptuelt tværsnit af oprensningen.

Figur 5.2 Konceptuelt tværsnit med dampinjektion og ekstraktion af vand og gasser over og under det indskudte lerlag

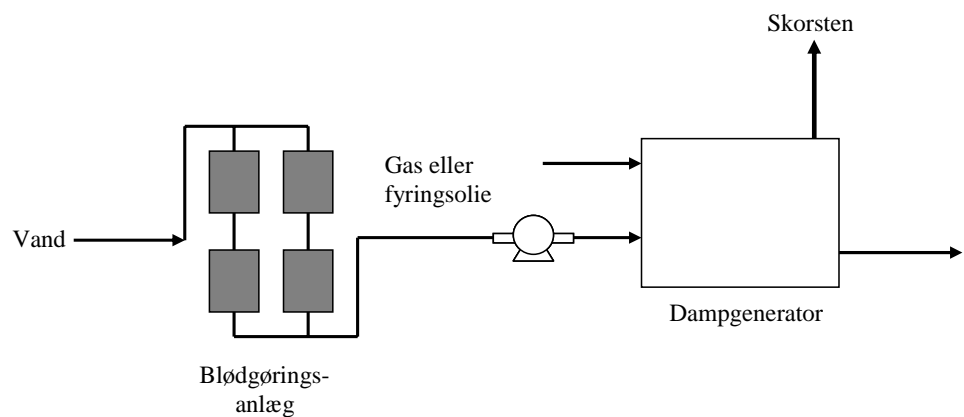


Der injiceres damp i filtre placeret både over og under det indskudte lerlag. Samtidigt ekstraheres vand og gasser fra begge disse lag. Den lodrette spuns samt den vandrette barriere forhindrer unødigt opvarmning uden for kildeområdet og over kote +1 og sikrer samtidig en bedre kontrol med varmeudbredelsen samt en bedre pneumatisk kontrol under oprensningen.

5.1.2 Overordnet procesbeskrivelse

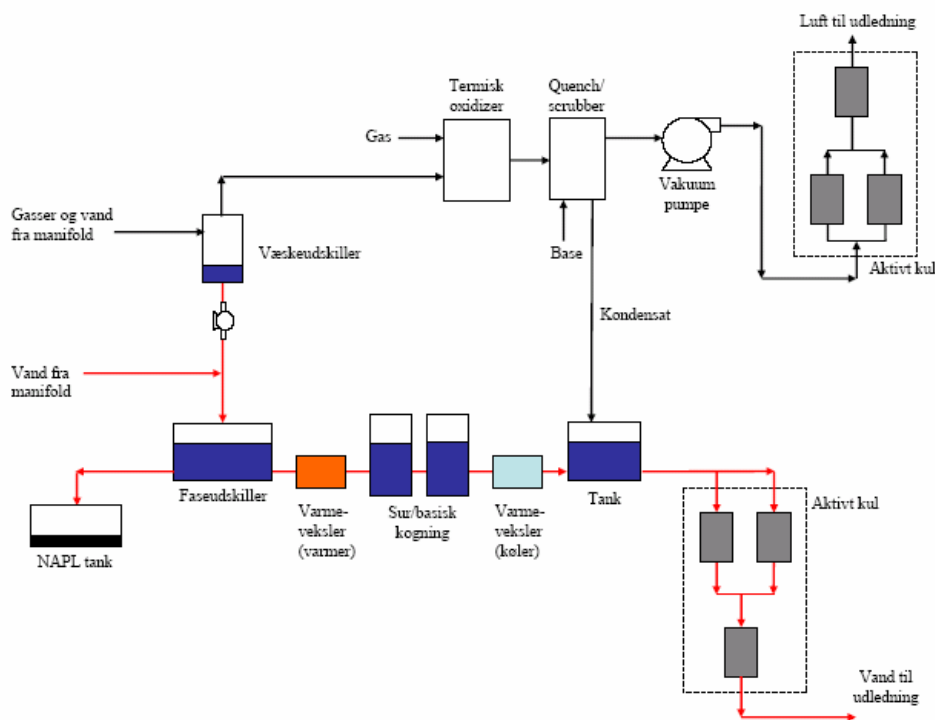
Dampen genereres på stedet af en eller flere dampmaskiner. Hertil anvendes blødgjort vand. En principskitse for dampanlægget er vist i figur 5.3. Brændsel til produktion af damp er naturgas (foretrukket), propan, eller fyringsolie. Der er dog ikke tilgængeligt naturgas i området, og fyringsolie vurderes at være det bedste alternativ. Valg af endelig energikilde skal nøjere vurderes i en evt. detailfase.

Figur 5.3 Skitse af anlæg til produktion af damp til injektion. Der anvendes ferskvand til dampproduktionen.



Anlægget til behandling til ekstraheret vand, DNAPL, og gasser (damp, luft, organiske stoffer samt uorganiske gasser) er skitseret i figur 5.4.

Figur 5.4 Skitse af anlæg til behandling af ekstraheret væske og gas.



Anlægget vil blive opbygget af komponenter, som har vist sig anvendelige og robuste i forhold til de aktuelle stoffer. Fra manifolden med gasser og ekstraheret væske adskilles gas (luft) og væske. Luften behandles først i en termisk oxidizer, hvor alle organiske stoffer afbrændes. Her kan uorganiske stoffer ligeledes reagere, og det forventes, at luftstrømmen ud af forbrændingskammeret er "normaliseret", dvs. domineret af forbrændingsprocessen, hvor store mængder ilt reagerer med organiske stoffer og det tilførte brændsel (gas). Ved afbrændingen dannes syre, som neutraliseres i den efterfølgende "quench/scrubber", hvor luftstrømmen afkøles til ca. 30-40 °C og samtidig neutraliseres ved tilførsel af base (typisk NaOH). Den kølede luft efterbehandles med aktivt kul for at efterpolere til meget lave koncentrationer før udledning til atmosfæren.

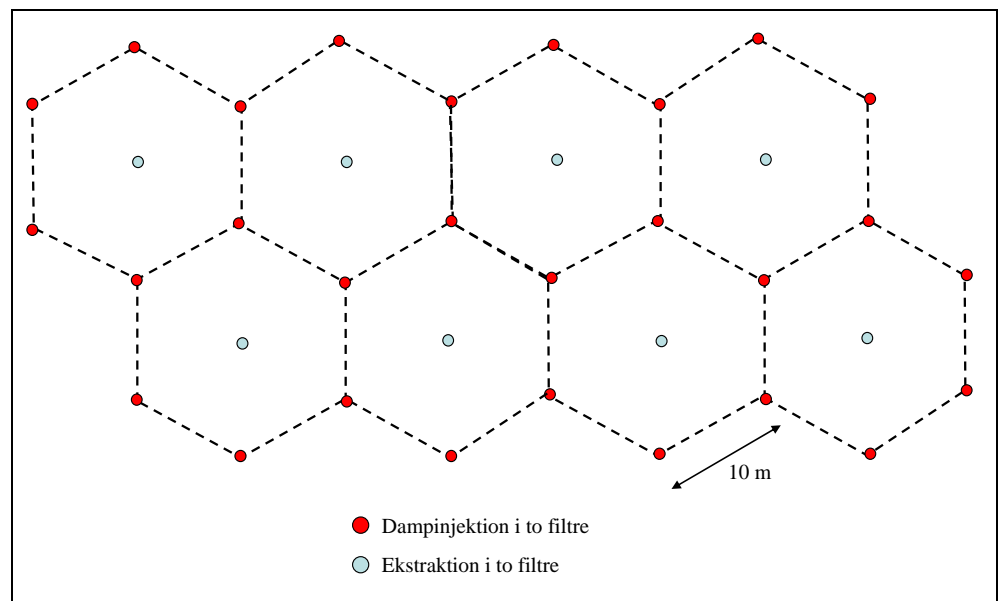
Væsken ledes fra væskeudskilleren til en faseudskiller, hvor NAPL og partikulært materiale fraskilles. Væsken, som efter faseudskilleren stadig kan indeholde dråber af NAPL og høje, opløste koncentrationer, behandles derefter ved basisk kogning. Kryds-varmevekslere anvendes til at minimere energiforbruget til dette. Efter denne forbehandling poleres vandet ved lavere temperatur ved filtrering med aktivt kul før udledning.

Det kan muligvis vise sig nødvendigt at behandle det oppumpede grundvand fra høfdedepotet i et biologisk rensningsanlæg inden udledning, idet det ikke er tilstrækkeligt belyst, hvorvidt f.eks. metabolitter som P1- og P2-syrer fjernes i tilstrækkeligt omfang under oprensningen og/eller ved den ovenfor beskrevne vandbehandling. Behovet for en biologisk behandling af oppumpet vand skal nærmere belyses i en evt. detailfase af projektet.

5.1.3 Boringsdetaljer og placering

Det vurderes, at dampen, som injiceres under det indskudte lerlag, vil udbrede sig vandret mellem det indskudte lerlag og den mere lavpermeable del af sandlaget under det indskudte lerlag. Ligeledes vil dampen injiceret over det indskudte lerlag udbredes horisontalt, men også stige opad, indtil den bremses af den installerede vandrette barriere (se figur 5.2). En boringsafstand på ca. 2-3 gange dybden til injektionsfilteret har været anvendt i lignende tilfælde. De nederste filtre forventes placeret ca. 5 m under den nye overflade. Derfor placeres injektionsboringerne med ca. 10 m afstand, i et hexagonalt mønster som vist i figur 5.5.

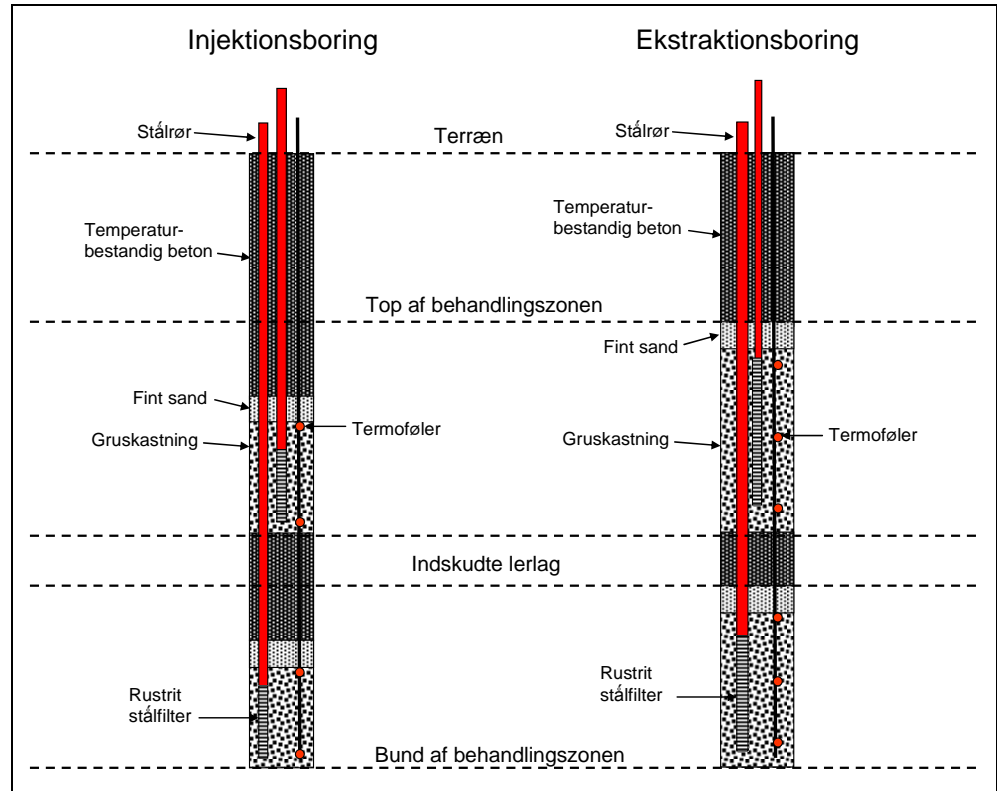
Figur 5.5 Skitseret layout af injektions- og ekstraktionsboringer



Hver ekstraktionsboring er omkranset af 6 injektionsboringer, hvilket erfaringsmæssigt sikrer den bedste opvarmning og samtidig minimerer antallet af injektions- og ekstraktionsboringer.

Boringerne udføres som udgangspunkt som skitseret i figur 5.6.

Figur 5.6 Skitse af injektions- og ekstraktions-boringer

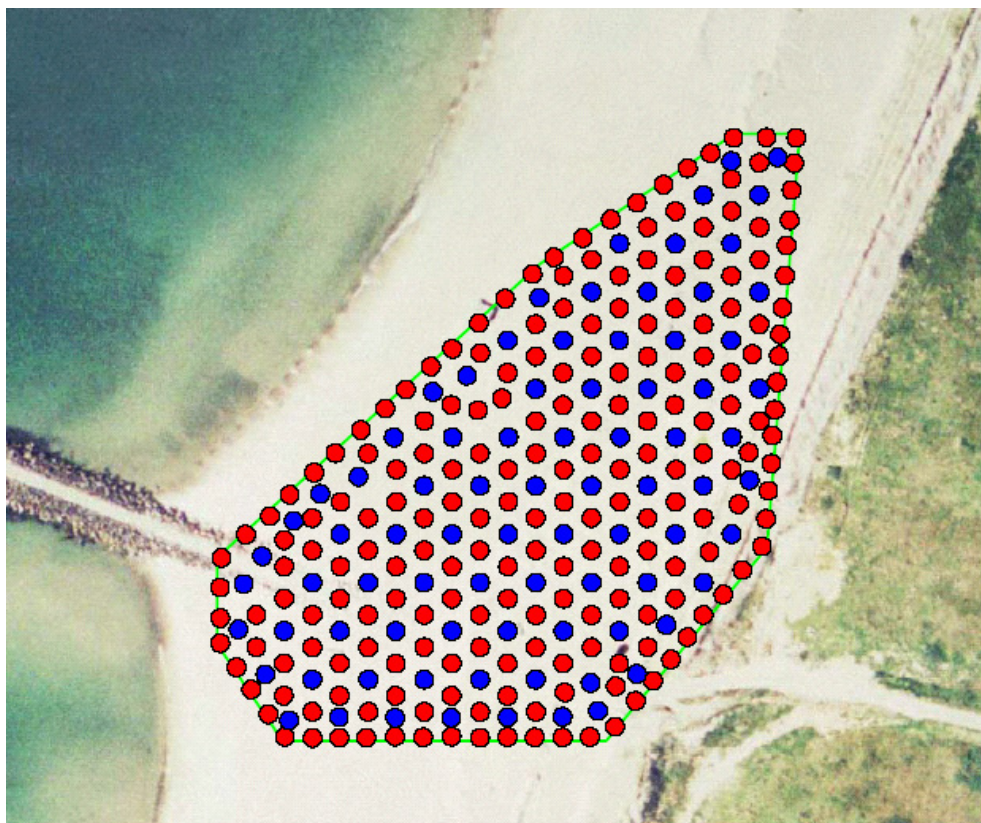


Der injiceres damp over og under det indskudte lerlag fra dobbeltboringer med separat justering af injektionstryk i de to lag. Tilsvarende ekstraheres fra to filtre i hver ekstraktionsboring. Det nederste filter udstyres med pumper, mens det øverste filter ekstraherer vand og gasser ved slurping. Ved slurping suges en blanding af vand og luft fra boringen i et separat rør samtidig med, at der er vakuum på selve boringen. Herved opnås fjernelse af vand fra boringen uden installation af pumper.

Moniteringsboringerne er ikke vist i figur 5.6, men består af et filter i hvert lag til pejling og trykmåling samt termofølere placeret for hver meter fra top til bund. Termofølerne placeres med henblik på at kunne overvåge og regulere varmeudbredelsen. Udvalgte injektions- og ekstraktionsboringer etableres med termofølere.

Den foreløbige placering af boringer er vist i figur 5.7.

Figur 5.7 Foreløbig boringsplacering for fuldskal oprensning med dampinjektion. Røde cirkler er dampinjektionsboringer, blå er ekstraktionsboringer.



Tabel 5.1 viser antallet af boringer. Copyright NDO Cowi.

Tabel 5.1 Antal boringer til dampinjektion, ekstraktion, og monitoring

	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag	Samlet antal
Injektionsboringer	203	203	203*
Ekstraktionsboringer	83	83	83*
Moniteringsboringer	50	50	50

*Bemærk, at to filtre installeres i hver boring.

Som det fremgår af figur 5.7, forventes injektionsboringer placeret langs den etablerede spunsvæg. Herved opnås en varm afgrænsning af oprensningsområdet. Det er ikke med sikkerhed klarlagt, at der ikke stedvis kan forekomme en markant sedimentforurening umiddelbart på ydersiden af den etablerede spuns, og det kan således ikke udelukkes, at opvarmningen af spunsen kan medføre dannelse af uønskede gasser. Der er derfor en risiko for en deraf følgende afdampning og lugtgener på ydersiden af den etablerede spuns, idet der på ydersiden af spunsen ikke er pneumatisk kontrol i den umættede zone.

Såfremt det viser sig nødvendigt (afklares ved et evt. pilotprojekt), kan der på ydersiden af spunsen etableres en række simple luftekstraktionsboringer i den umættede zone, således at der opnås pneumatisk kontrol med området umiddelbart langs med spunsen. Der forventes at skulle etableres i størrelsesordenen 65 simple vakuumboringer langs spunsen for at opnå den nødvendige pneumatiske kontrol. Ekstraheret luft fra disse boringer kan behandles med den i øvrigt ekstraherede luft i forbindelse med oprensningen.

Ved et evt. fuldskalaprojekt skal den nøjagtige boringsplacering samt placering og indretning af injektions- og ekstraktionsfiltre nærmere vurderes. Vurderingen foretages med udgangspunkt i resultater fra pilotprojektet, samt ved gennemførelse af teoretiske beregninger i modelleringsprogrammer. Herved sikres den oprensingsmæssige samt økonomisk bedste indretning og placering af borerne. Endvidere efterprøves, hvorvidt det anvendte materialevalg er tilstrækkeligt under de aggressive forhold i høfdedepotet.

Det bør også overvejes at udføre supplerende borer forud for endelig placering af injektions- og ekstraktionsboringer mhp. at belyse det vertikale forureningsprofil i området over det indskudte lerlag. Samtidig vil det på baggrund af resultatet fra de supplerende borer muligvis være muligt at reducere tildeområdet og dermed oprensingsvolumenet.

5.1.4 Oprensingsstrategi

Oprensningen vil foregå efter følgende principper:

1. Der etableres hydraulisk og pneumatisk kontrol ved start af pumpning og ekstraktion fra borerne over og under det indskudte lerlag. Dette dokumenteres ved pejlinger og måling af vakuum i umættet zone.
2. Damp injiceres i de dybe filtre (ca. 60 kg/time per filter), mens der pumpes tilstrækkelige mængder grundvand til at skabe plads til udbredelse af en dampzone. Dampen vil i denne fase opvarme det indskudte lerlag til nær damptemperatur.
3. Når laget under det indskudte lerlag har nået en temperatur på 70-90 grader i gennemsnit, injiceres damp i laget over det indskudte lerlag. Der injiceres med mindre rater i det nederste lag, imens pumpning og ekstraktion justeres således, at den hydrauliske og pneumatiske kontrol bevares.
4. Når der konstateres dampgennembrud til ekstraktionsboringerne, påbegyndes fasen med tryk-cykler. Dette sker ikke nødvendigvis samtidigt i det nederste og øverste lag. Dampgennembrud defineres ved, at der ekstraheres damp ved en temperatur på mindst 95 °C under vakuum. Tryk-cykler skabes ved at variere injektionstrykket således, at der injiceres i ca. 3 dage ved størst tryk efterfulgt af 4 dage ved lavt tryk. Herved opnås en ugentlig cyklus som tidligere anvendt på Young-Rainey STAR Center (Heron et al. 2005).
5. Injektionen af damp fortsætter, indtil monitoringen viser, at oprensningen er forløbet som planlagt:
 - a. Der er opnået 100 °C i laget over det indskudte lerlag.
 - b. Der er opnået 90 °C eller højere temperatur under det indskudte lerlag.
 - c. Der er fjernet store mængder færdigvarer, og koncentrationen i den ekstraherede luft og vand er faldet til under 1 % af maksimum-værdien.
 - d. Prøvetagning af sediment viser, at den ønskede reduktion i koncentrationen er opnået.
 - e. Prøvetagning af vand viser, at nedbrydningsprodukter ikke er ophobet i uønsket høje koncentrationer.
6. Efter dampinjektionen afsluttes, pumpes og suges der fortsat, indtil den ønskede temperatur er opnået. Som et minimum skal al damp fjernes eller kondensere. I denne fase injiceres koldt vand, hvis det vurderes nødvendigt for afkølingen eller for at skylle vandopløselige nedbrydningsprodukter ud.

En mere præcis oprensingsstrategi fastsættes som led i en eventuel detailprojektering.

5.2 Masse- og energibalancer

Tabel 5.2 præsenterer det samlede oprensingsvolumen samt varmekapacitet heraf med mellemregninger. I beregningerne er det indskudte lerlag antaget at være en del af det nedre lag, idet det fortrinsvis vil blive opvarmet nedefra af opstigende damp.

Tabel 5.2 Opgørelse af volumen og varmekapacitet for fuldskal a-oprensning.

	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag*	Samlet	Enhed
Volumen, total	74.379	53.861	128.240	m ³
Porøsitet	0,39	0,39	0,39	
Sedimentvolumen	45.371	32.855	78.226	m ³
Vandvolumen	23.206	21.006	44.212	m ³
Vandmætning	80	100	90	procent
Vægt af sediment	109.865.000	79.558.000	109.952.000	kg
Vægt af vand	23.206.000	21.006.000	44.212.000	kg
Sedimentets varmekapacitet	109.865.000	79.558.000	189.423.000	kJ/°C
Vandets varmekapacitet	97.140.000	87.931.000	185.071.000	kJ/°C
Samlet varmekapacitet	207.005.000	167.489.000	374.494.000	kJ/°C

*Det indskudte lerlag er medtaget i beregningen for det nedre lag.

Der oprenses ca. 130.000 m³ forurenede sediment og vand. Porøsitet og vandmætning er estimeret ud fra målingerne i treatability forsøgene.

Oprensningens overordnede energibalancer fremgår af tabel 5.3.

Tabel 5.3 Overordnet energibalancer for oprensningen.

Energiberegninger	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag	Samlet	Enhed
Injektionsrate, damp	6.583	4.767	11.350	kg/time
Ekstraktionsrate, vand	12	9	22	m ³ /time
Vandtemperatur	93	82	88	°C
Energiflux ind, damp	4.249	3.077	7.325	kW
Energiflux ud, varmt vand	1.210	759	1.969	kW
Energiflux ud, damp	637	461	1.099	kW
Netto energiflux ind	2.401	1.856	4.257	kW
Opvarmningsrate	1,0	1,8	1,4	°C/dag
Starttemperatur	10	10	10	°C
Sluttemperatur	110	110	110	°C
Varmetab, samlet	20	20	20	%

Specifikationer på anlæggets væsentligste komponenter er angivet i tabel 5.4.

Tabel 5.4 Specifikationer på anlægskomponenter (maksimum kapaciteter).

Dampanlæg	Størrelse	Enhed
Vandblødgører	14	m ³ /time
Dampgenerator	13.650	kg/time
Luftekstraktion	Størrelse	Enhed
Væskeudskiller	6.031	m ³ /time
Termisk oxidizer	6.031	m ³ /time
Quench/scrubber	6.031	m ³ /time
Vakuumpumper	6.031	m ³ /time
Aktivt kul, luft	6.031	m ³ /time
Vandekstraktion	Størrelse	Enhed
Pumpe fra udskiller	26	m ³ /time
Faseudskiller	32	m ³ /time
NAPL tank	10	m ³
Varmevexler 1	1.150	kW
Varmevexler 2	1.150	kW
Anlæg til basisk kogning	32	m ³ /time
Aktivt kul, vand	32	m ³ /time

5.3 Tidsforbrug og omkostninger

Afværgen består af de følgende trin:

1. Evt. etablering af ny spuns for det forurenede område uden for den eksisterende spuns.
2. Afgravning af øvre, rene sand og placering af en horisontal barriere over den øvre oprensingsdybde (membran).
3. Placering af det rene sand over membranen.
4. Installation af dampboringer, ekstraktionsboringer og monitoringsboringer.
5. Installation af infrastruktur til damp- og behandlingsanlæg (strøm, vand, udledning).
6. Installation af dampanlæg.
7. Installation af behandlingsanlæg.
8. Installation af boringsudstyr, pumper, manifolde, og monitoringsudstyr.
9. Termisk oprensning og efterfølgende afkøling (se detaljer i afsnit 5.2).
10. Afvikling af anlæg og infrastruktur.
11. Fjernelse af boringer.
12. Retablering af originalt sandlandskab.

5.3.1 Tidsforbrug

Tabel 5.5 viser den beregnede oprensningsperiode, som forenklet er som følger:

- 15 dage med etablering af hydraulisk og pneumatisk kontrol.
- Ca. 4 måneder, hvor der injiceres damp - først i det nederste lag, siden i begge lag, og generelt ved nær maksimale rater for at få så god en vandret fortrængning af vand som muligt.

- 3 måneder med trykcyklusser til optimering af opblanding og ekstraktion af flygtige stoffer.
- 3 måneders afkøling og gennemskylning med rent vand til flushing af nedbrydningsprodukter.

Tabel 5.5 Estimat af behandlingstid.

Forventet tidsforbrug	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag	Samlet	Enhed
Etablering af hydraulisk og pneumatisk kontrol	15	15	15	dage
Injektion af damp til gennembrud	123	66	123	dage
Trykcyklusser	90	90	90	dage
Afkøling	90	90	90	dage
I alt	318	261	318	dage

Den samlede behandlingstid er ca. 320 dage, svarende til ca. 11 måneder. Bemærk at anlægsperioden ikke er medregnet i de 11 måneder.

5.3.2 Overslag over omkostninger ved fuldskala termisk oprensning

Størrelsesordenen for omkostningerne forbundet med gennemførelse af det beskrevne fuldskalaprojekt er estimeret i tabel 5.6. De angivne priser er baseret på et groft prisoverslag og er stærkt afhængigt af erfaringsopsamling fra et evt. pilotprojekt, idet kritiske elementer her vil blive lokaliseret. Alle priser er angivet i millioner kroner ekskl. moms.

Tabel 5.6 Prisoverslag – gennemførelse af fuldskalaprojekt.

Projektfase	Honorar inkl. interne udlæg [mio. kr.]	Entreprenørudgifter [mio. kr.]
Honorar		
Procesdesign	2,0	-
Monitering	1,5	1
Projektstyring og afrapportering	0,3	-
Entreprenørudgifter		
Klargøring af oprensningsområde	-	4
Borearbejde inkl. etablering af borer	-	9
Rørtraceer, inkl. måleudstyr	-	10
Damp- og vakuumanlæg	-	28
Luft- og vandrensning	-	10
Drift af anlæg	-	8
Elforbrug	-	3
Omkostninger til dampgenerering	-	34
I alt	3,8	107
	110,8	

Udgiften til gennemførelse af fuldskalaprojektet beløber sig til i størrelsesordenen 110 mio. kr. ekskl. moms.

Udgifter til procesdesign indeholder kunde- og myndighedskontakt samt detalprojektering af fuldskalaanlægget, herunder modelarbejde, udarbejdelse af arbejdsbeskrivelser, indhentning af tilladelser, korrespondance med entreprenører mv.

Monitering omfatter monitering af anlægget og relevante massestrømme 3 gange ugentligt i en oprensningsperiode på ca. 11 måneder. Analyseomkostninger er ikke nærmere prissat, idet analyseomfanget på nuværende tidspunkt er ukendt. Der er samlet set afsat i størrelsesordenen 1 mio. kr. til udgifter i forbindelse med analysearbejde. I monitoringsprisen er endvidere indregnet daglig behandling af bl.a. temperaturdata og prøvedata fra oprensningen med henblik på at optimere projektets gennemførelse samt tilsyn med afværgeanlægget i afværgeperioden. Samtidig er indregnet borearbejde til dokumentation af forureningsniveauer både før, undervejs og efter endt oprensning.

Projektstyring indeholder udgifter til den overordnede styring af fuldskalaoprensningen samt afrapportering og evaluering efter endt oprensning.

Klargøring af oprensningsområde omfatter afgravning af sand til kote +1, udlægning af vand- og lufttæt membran mv. Borearbejdet omfatter etablering af de beskrevne injektions-, ekstraktions- og monitoringsboringer. Rørtracéer indbefatter fremføring af rør frem til afværgeanlægget placeret centralt i oprensningsområdet frem til vakuumboringer, injektionsboringer samt slurpingboringer og er inkl. boringsafslutninger, mulighed for flow-, tryk-, og temperaturmåling på samtlige filtre, isolering af damprørtracéer mv.

Alle rørføringer og boringer er forudsat udført i gængse rørmaterialer (ST37). Der er dog kalkuleret med en sværere godstykkelse end normalt.

Opbygningen af afværgeanlægget vil beløbe sig til en udgift på ca. 27 mio. kr. Det forventes, at der udføres en stålpladebygning eller lignende oven på depotet, hvori kedel- og vakuumanlæg indbygges. Til vakuume ekstraktionen er prissat 3 stk. væskeringspumper, som umiddelbart vurderes at være de mest sikre pumper mhp. på at minimere risiko for eksplosioner. Pumperne anvender vand som pakningsmiddel. Der er endvidere prissat en separat væskeringspumpe til ansugning af slurpingboringerne. Internt på anlægget forventes brug af rustfrie/syrefaste pumper til flytning af vandfasen. Der er indregnet 10 mio. kr. til termisk oxidizer, scrupper samt basisk kogning.

Der er indledningsvis afsat 1 mio. kr. til behandling med kul. Forbruget af kul kan ikke nærmere vurderes, før resultatet fra et evt. pilotprojekt foreligger.

Drift af anlægget dækker over opsyn på pladsen samt lejepris af visse dele af afværgeanlægget. Elforbruget er skønnet til ca. 3 mio. kr. ved brug af en elpris på ca. 80 øre pr. kWh. Der er ikke indregnet udgifter til evt. skiftning af anlægselementer. Behovet herfor bliver nærmere belyst i et evt. pilotprojekt.

Udgiften til generering af den nødvendige dampmængde er skønnet til ca. 34 mio. kr. og dækker dampproduktionen inkl. vand, virkningsgradstab, konditionering af råvand osv.

Ovenstående skal betragtes som et groft prisoverslag. På baggrund af resultater og erfaringer fra pilotprojektet vil det være muligt at vurdere omfanget af tiltag mhp. at sikre arbejdsmiljø, sikre mod eksplosioner, materialevalg i forhold til korrosion osv. I ovenstående prisoverslag er ikke indregnet detaljerede foranstaltninger til sikring mod eksplosionsrisiko, idet omfanget af disse endnu ikke er afklaret.

5.4 Forventede oprensningseffektiviteter

Som diskuteret i afsnit 3 og 4 forventes oprensningseffektiviteten overordnet at kunne forudsiges ud fra resultaterne af treatability forsøgene med visse justeringer baseret på praktiske betragtninger og erfaringer.

Effektiviteterne er estimeret ud fra, at der opnås 100 °C over det indskudte lerlag og en behandlingsgrad under det indskudte lerlag svarende til forsøget ved 90 °C. De følgende betragtninger berører den forventede effektivitet i felten:

- Ved dampinjektion med trykcyklusser opnås generelt bedre resultater end med dampinjektion uden trykcyklusser. Trykcyklusser er effektive, fordi:
 - Der opnås forøget afdampning af flygtige stoffer grundet in-situ kogning i dekompressions-faserne.
 - Der opnås forøget blanding (mixing) af grundvand, kondensat, damp, og luft. Dette stimulerer kontakt med DNAPL-lag i bunden af en dampzone, muliggør bedre kontakt for opløsningsprocesser og skaber bedre betingelser for nedbrydningsprocesser som hydrolyse.
- I feltskala er det ikke altid muligt at få hele det forurenede område opvarmet til kogepunktet eller den ønskede behandlingstemperatur (grundet lagdeling eller heterogeniteter, der hindrer dampens udbredelse). Derfor er det muligt, at mindre områder vil blive behandlet mindre grundigt end estimeret i laboratoriet.
- I felt-skala vil oprensningen ved høje temperaturer foregå over en periode på mindst 6 måneder, hvilket er mange gange længere end treatability forsøgenes 7 dage. Herved opnås mere tid til hydrolyse-reaktioner, som evt. kan blive mere betydningsfulde, hvis disse er begrænset af reaktionskinetikken.

Overordnet er det NIRAS og TerraTherms opfattelse, at fjernelseseffekterne opnået ved treatability forsøgene generelt er mindre end den oprensningseffektivitet, som kan forventes ved feltskalaoprensningen. Oprensningseffektiviteter, som forventes i felten (intervaller er angivet, hvor dette er muligt), er:

- *Ethyl-parathion*: Treatability forsøgene viser mellem 82 % og 91 % fjernelse. Det anses for muligt at opnå mellem 90 % og 99 % fjernelse i felten grundet tryk-cyklusser og længere behandlingstid.
- *Methyl-parathion, malathion, og sulfutep*: Treatability forsøgene viser fuldstændig fjernelse. Det forventes, at lignende resultater kan opnås i felt-skala (95-99,9 % fjernelse afhængig af startkoncentrationer).
- *Para-nitrofenol (PNF)*: Treatability forsøgene viste dannelse ved temperaturer omkring 90 °C. Det forventes, at gennemskylning med store mængder damp og vand vil udvaske meget af den dannede PNF. Det er også muligt, at PNF nedbrydes ved behandling ved 100 °C og dermed elimineres. Dette skal dog studeres nærmere i pilot-skala.
- *Polære stoffer (EP1, EP1-syre, EP2, EP2-syre, etc.)*: Disse stoffer vil helt sikkert dannes ved hydrolyse af færdigvarerne. Det er endnu uvist, i hvilket omfang de vil blive nedbrudt ved temperaturen omkring 90 grader, eller om de skal fjernes med oppumpet vand/kondensat.
- *Kviksølv*: Lille effekt, uændret koncentration i sediment.

På trods af de vellykkede treatability forsøg bør oprensningseffektiviteterne studeres nærmere i pilot-skala.

5.5 Kritiske elementer og usikkerheder

I det følgende diskuteres de væsentligste usikkerheder i forbindelse med den valgte termiske behandling af høfdedepotet ved Høfde 42.

5.5.1 Infrastruktur og tilførsel af vand, brændsel og strøm

Fuldskalaoprensning kræver tilførsel af energi og vand som følger:

- a. Ferskvand til produktion af damp.
- b. Strøm til afværgeanlægget.
- c. Brændsel til dampproduktionen (fyringsolie eller naturgas).
- d. Brændsel til termisk oxidation af luft (naturgas eller propan).

Hvis dette ikke er praktisk muligt, kan det påvirke beslutningen om gennemførelsen af den termiske oprensning. Umiddelbart vurderes tilførslen af ovenstående ikke at udgøre et væsentligt problem.

5.5.2 Behandling og afledning af spildevand

Under oprensningen oppumpes ca. 220.000 m³ grundvand, som skal behandles og efterfølgende udledes. Det ubehandlede vand kan indeholde:

- Færdigvarer som fri fase.
- Opløste syrer og andre polære stoffer, som ikke let fjernes ved basisk kogning eller kulfiltrering, men evt. kræver biologisk behandling.
- Kviksølv.
- Andre organiske eller uorganiske nedbrydningsprodukter.

Det er vigtigt, at behandlingsmetoder for det oppumpede vand identificeres og om muligt afprøves under pilotprojektet. Det skal ligeledes overvejes, hvorvidt det oppumpede grundvand skal behandles biologisk inden udledning.

5.5.3 Behandling og udledning af luft

Under fuldskala oprensning udsættes hele oprensningsområdet for vakuum, og der ekstraheres ca. 6.000 m³ luft/gasser pr. time. Disse gasser består af:

- Atmosfærisk luft.
- Damp.
- Organiske gasser (pesticider og nedbrydningsprodukter).
- Uorganiske gasser dannet bl.a. ved hydrolyse.
- Kviksølv.

Det er vigtigt, at luftbehandlingsanlægget fjerner disse stoffer, så udledningskriterierne overholdes. Det er også vigtigt, at behandlingsmetoder for den ekstraherede luft identificeres og om muligt afprøves under pilotprojektet.

5.5.4 Pneumatisk kontrol og lugtgener i feltskala

Den pneumatiske kontrol er tæt knyttet til spørgsmålet om lugtgener og emissioner fra fuldskala systemet. Det er vigtigt, at den pneumatiske kontrol monitoreres og dokumenteres:

- Kontrol og måling af vakuum på ekstraktionsboringerne.
- Trykmåling inden for og uden for spunsen i umættet zone (skal vise indadrettede trykgradienter).
- Måling af organiske og uorganiske parametre på luft over og omkring behandlingszonen, inklusive placeringer i nedstrøms vindretning.

Et væsentlig spørgsmål er, om der skal ekstraheres luft uden for spunsen for at undgå lugtgener i forbindelse med at evt. forurenede materiale uden for denne opvarmes og fordamper, som beskrevet i afsnit 5.1.3. Dette kan dokumenteres i pilotforsøget, hvor de nødvendige filtre installeres og anvendes til måling og evt. vakuume ekstraktion.

5.5.5 Hydraulisk kontrol i feltskala

Det er vigtigt, at det opvarmede vand (og evt. DNAPL) opsamles til behandling og ikke strømmer ud gennem spunsen. Dette sikres og dokumenteres således:

- Massebalancen for vand vedligeholdes, således at der under oprensningen altid sker en netto-fjernelse af vand.
- Vandniveauet pejles inden og uden for spunsen under oprensningen.
- Ekstraktionsraten justeres således, at den hydrauliske gradient under oprensningen altid er indadrettet.

Det skal pointeres, at dampinjektion på indersiden af spunsvæggen kan give anledning til en begrænset, lokal strømning udad, idet der opbygges damptryk på indersiden af spunsen. Det anses for at være acceptabelt med en lille og tidsbegrænset strømning udad, idet den samlede netto-strømning vil være indadrettet (dette sikres ved, at vandniveauet inden for spunsen holdes afsænknet i forhold til udenfor). Dette kan dokumenteres i pilotforsøget.

5.5.6 Dampinjektionsrater og udbredelse – opnåelse af de ønskede temperaturer

Det er kritisk, at det forurenede område opnår den ønskede behandlingstemperatur. Dette søges opnået ved dels at injicere damp under det indskudte lerlag, og ved dels at afvande den øverste del af det øverste sandlag, så dampen kan komme i kontakt med DNAPL beliggende over dette. De opnåede temperaturer måles direkte med termofølere placeret i relevante dybder. Dette kan dokumenteres i pilotforsøget. Modelberegninger bruges til kalibrering og opskalering.

5.5.7 Kan boringerne holde til det korrosive miljø?

Dette testes direkte i pilotforsøget. Det forventes, at stålør og rustfrie stålfilter kan anvendes, så længe der anvendes materialer med ekstra godstykkelse. I pilotforsøget installeres kupper af alternative materialer inden for området, så korrosionens betydning kan belyses. Efter pilotforsøget inspiceres boringer og kupper.

5.5.8 Risici for eksplosion

Det er endnu ikke med sikkerhed afklaret, hvorvidt opvarmning af fri organisk fase eller residual fri fase kan indebære en risiko for eksplosion. Det er specielt parathion og methylparathion, som vurderes at være problematiske i den forbindelse. Det anbefales således, at der inden igangsættelse af et termisk baseret pilotprojekt foretages yderligere studier inden for området. Cheminova A/S har i den forbindelse oplyst en række laboratorier i Europa, som evt. kan udføre kalorimeterforsøg med anvendelse af prøvemateriale fra hotspot området.

6 anbefalinger til fase 2

I dette afsnit beskrives de anbefalede aktiviteter i projektets anden fase. Pilotprojektet beskrives i afsnit 6.2 til 6.9. I afsnit 6.10 beskrives yderligere anbefalinger.

I appendiks 1 er tilsvarende præsenteret en løsning, hvor ISTD benyttes i en pilotfase.

6.1 Fase 2 - formål og afgrænsning

Hovedformålet med Fase 2 og et pilotforsøg er at vise, om den termiske metode er praktisk anvendelig og effektiv ved Høfde 42. Delformål er beskrevet i tabel 6.1.

Fase 2 vil derfor bedst af de følgende elementer:

- Gennemførelse af kalorimeterforsøg til vurdering af eksplosionsrisikoen ved opvarmning af den faktiske stofblanding i jorden ved Høfde 42.
- Karakterisering og profilering af startkoncentrationer og fysiske parametre i det valgte område.
- Modelberegninger af dampinjektion ud fra målte og vurderede parametre (forventes udført med T2VOC af Jacob Gudbjerg, DHI).
- Afgravning af øvre, rent sand og placering af en horisontal barriere over den øvre oprensingsdybde (membran).
- Placering af det rene sand over membranen.
- Installation af dampboringer, ekstraktionsboringer, og monitoringsboringer.
- Installation af infrastruktur til damp- og behandlingsanlæg (strøm, vand, udledning).
- Installation af dampanlæg.
- Installation af behandlingsanlæg.
- Installation af boringsudstyknings, pumper, manifolde, og monitoringsudstyr.
- Termisk oprensning og efterfølgende afkøling.
- Afvikling af anlæg og infrastruktur.
- Fjernelse og inspektion af boringer.
- Karakterisering af jord og grundvand efter pilotforsøget.
- Kalibrering af model og optimering af design for fuld-skala behandling.

Tabel 6.1 Formål med pilotforsøg.

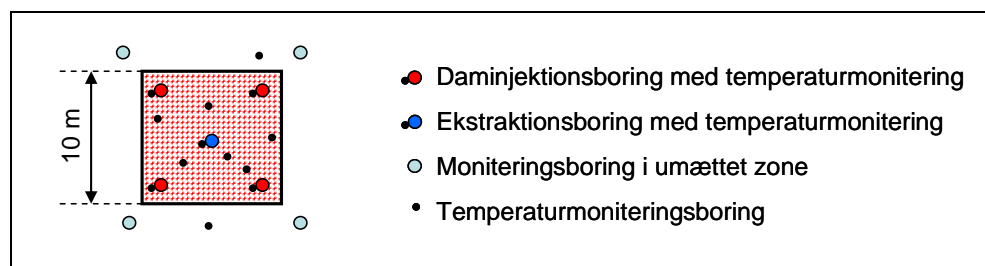
Formål	Metode	Diskussion
Vise, at dampinjektion kan udføres sikkert og uden risiko	Monitering af projektet og dets sikkerhed, inkl. måling af gasser og eksplosionsrisiko	
Vise reduktion af koncentrationen af færdigvarer og andre organiske stoffer	Måling af jord- og vandprøver før, under og efter oprensningen	Sammenligning af profiler før og efter. Sammenligning af masseestimer før og efter.
Vurdering af opnåelige temperaturer og optimal boringsafstand	Måling med termofølere i forskellig afstand fra injektions og ekstraktions-boringer. Modelling af dampudbredelse med andre boringsafstande	Afstand for pilotprojektet vælges ud fra modelberegninger – disse kalibreres senere
Vurdere betydning af dampinjektion under indskudte lerlag for opvarmningseffektivitet	Injektion under lerlaget først med monitering af dampudbredelsen	Det forventes, at opvarmning nedefra og op giver bedre opblanding og kontakt med DNAPL beliggende over det indskudte lerlag – modelberegninger bruges som støtte
Bestemme optimale damprater og strategi for injektion og ekstraktion	Eksperimentering med rater og tryk-cykluser	Sammenholdes med model – især pumperater og strategi for afvanding over det indskudte lerlag er vigtige
Vurdering af metode til DNAPL ekstraktion	Afprøvning af dykpumpe og slurping-metode i samme boring	Dykpumpes værdi og holdbarhed i miljøet og mulighed for effektiv DNAPL opsamling uden pumper vurderes
Vurdering af behov for ekstraktion udenfor spunsen	Monitering af poreluft i filtre langs spunsen og evt. vakuume-kstraktion fra disse	Lugtgener måles og afværges
Vise værdi af installation af vandret barriere	Monitering af temperaturer samt vurdering af barrierevirkningen over for damp og væsker	Modelberegninger med og uden barriere udføres
Vurdering af korrosion af boringer og rørføringer samt behandlingsanlæg	Inspektion efter pilotforsøget	Forskellige materialer afprøves som kuponer og i boringer
Vise behandlingsanlæggets funktion og rensningsgrad for luft og vand	Prøvetagning af luft- og vandstrømme	
Identificere kritiske elementer for fuld-skala design og pris	Holistisk vurdering af pilotforsøget	

Det følgende afsnit beskriver det foreløbige design af pilotprojektet.

6.2 Pilotprojekt - valg af areal og dybde

Der fokuseres på et areal inden for den allerede etablerede spuns. Arealet forudsættes afgrænset med en ny spuns, som således definerer afgrænsningen af området for pilotprojektet. En skitse af pilotforsøget fremgår af figur 6.1.

Figur 6.1 Skitse af pilotforsøg. En spuns omkranser det opvarmede område.



Der injiceres damp i og ekstraheres vand samt gasser fra filtre placeret både over og under det indskudte lerlag, som skitseret i figur 5.2.

Pilotområde udvælges ud fra følgende kriterier:

- Området skal have forurening både over og under det indskudte lerlag.
- Der skal være DNAPL over det indskudte lerlag.
- Praktisk placering med hensyn til tilslutning af strøm og vand.

Den valgte dimension på pilotområdet skyldes de følgende kriterier:

- Areal og volumen begrænses så vidt muligt for at minimere prisen på pilotprojektet.
- Boringsafstand mellem injektion og ekstraktion skal være realistisk i forhold til fuld skala (6 m valgt; 10 m er foreløbigt planlagt for fuldskala).
- Der skal være plads til installation af moniteringsboringer.

Den foreslåede spuns vil være kvadratisk med sidelængder på 10 m og en omkreds på 40 m.

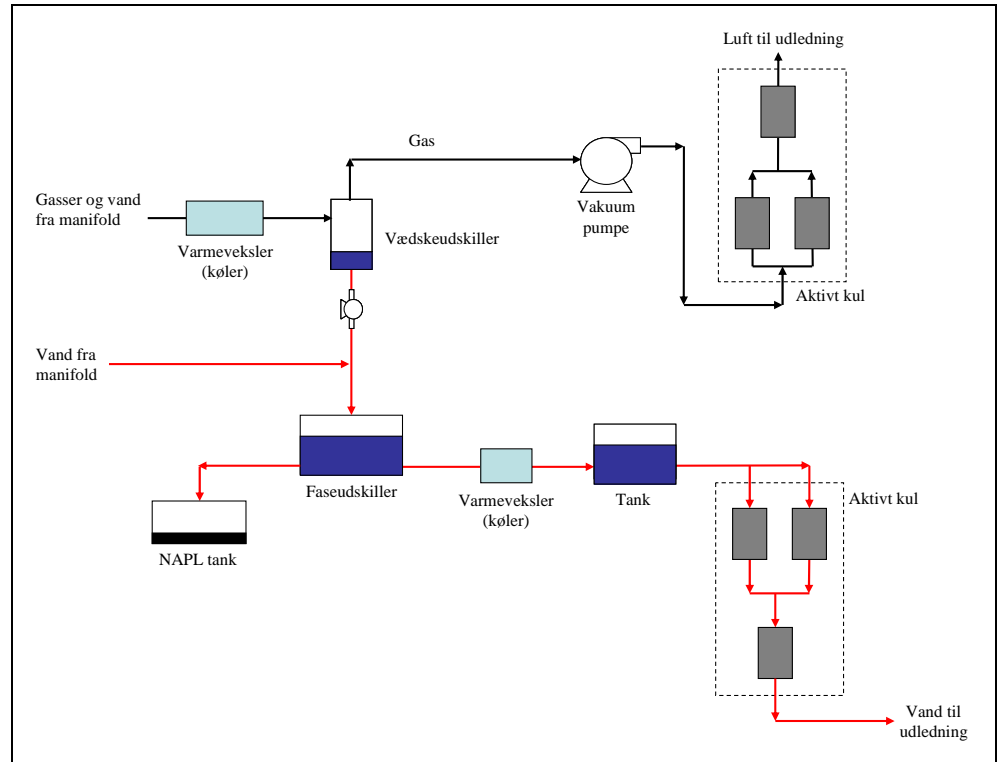
6.3 Procesbeskrivelse

Generelt anvendes en mindre - og hvor det er muligt - simplificeret udgave af fuldskala-processen.

Dampen genereres på stedet af en dampmaskine. Hertil anvendes blødgjort vand. En principskitse for dampanlægget er vist i figur 5.3. Brændsel til produktion af damp er fyringsolie.

Anlægget til behandling af ekstraheret vand, DNAPL, og gasser (damp, luft, organiske stoffer samt uorganiske gasser) er skitseret i figur 6.2. Dette er en stærkt simplificeret udgave af anlægget til fuldskala-behandling. Det begrænsede volumen for pilotprojektet gør, at afkøling/kondensation og kulfiltrering er den billigste og mest pålidelige løsning til luftbehandling. Det forventes, at målinger på injicerede dampmængder samt ekstraherede mængder af vand, gas og fri fase kan anvendes til det videre design for fuldskala systemet.

Figur 6.2 Skitse af pil otanlæg til behandling af ekstraheret væske og gas.



Anlægget består af komponenter, som hver for sig har vist sig effektive over for de aktuelle stoffer. Fra manifolden med gasser og ekstraheret væske adskilles gas (luft) og væske. Luften behandles med aktivt kul til meget lave koncentrationer. Væsken ledes til en faseudskiller, hvor NAPL fraskilles. Vandet, som kan indeholde dråber af NAPL og høje opløste koncentrationer, behandles derefter ved filtrering med aktivt kul før udledning.

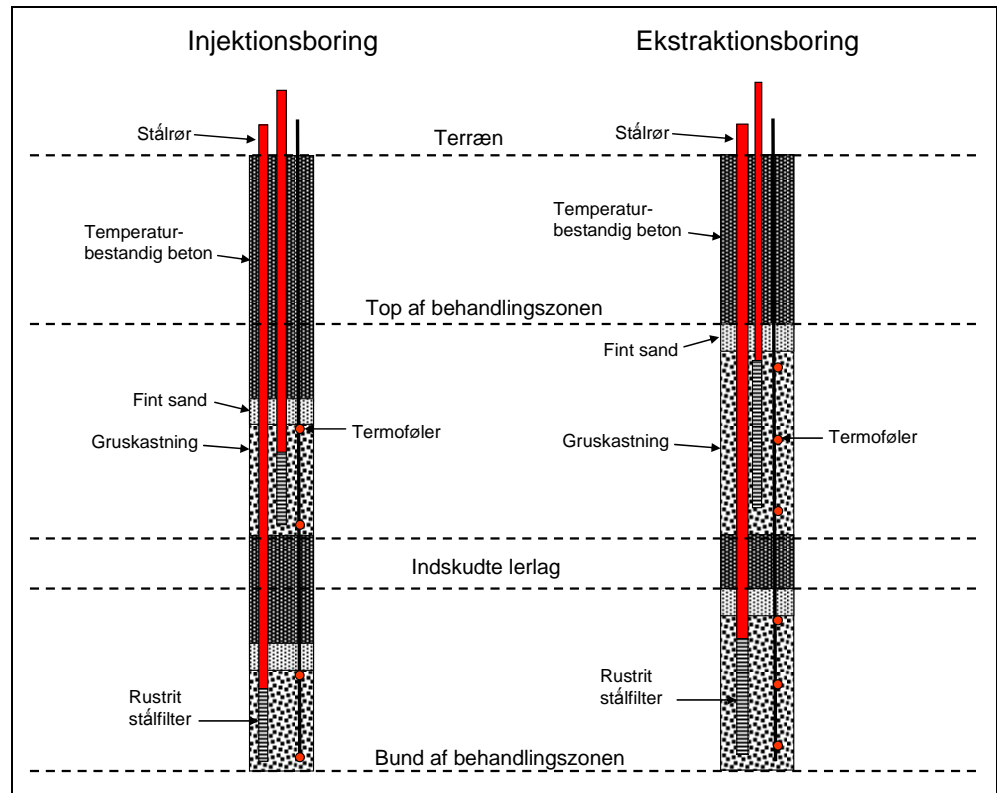
6.4 Boringsdetaljer

Boringerne udføres som skitseret i figur 6.3. Boringerne er identiske med de planlagte til fuld-skala oprensning, bortset fra at de er instrumenteret med termofølere.

Der injiceres damp over og under det indskudte lerlag fra en dobbeltboring med separat justering af injektionstryk i de to lag. Tilsvarende ekstraheres fra to filtre i den centrale ekstraktionsboring. Begge filtre udstyres med pumpe, mens det øverste filter også ekstraherer vand og gasser ved slurping. Herved belyses behovet for og bestandigheden af dykpumper i det forventede aggressive miljø.

Moniteringsboringerne består af et filter i hvert lag til pejling og trykmåling samt termofølere placeret for hver meter fra top til bund. De fire boringer uden for spunsen er simple filtre i umættet zone. De kan anvendes til trykmåling, måling af poreluft og vakuumeekstraktion.

Figur 6.3 Skitse af injektions- og ekstraktions-boringer til pilotprojekt.



Tabel 6.2 præsenterer antallet af boringer ved pilotforsøget.

Tabel 6.2 Antal boringer til dampinjektion, ekstraktion og monitorering.

	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag	Samlet antal
Injektionsboringer	4	4	4*
Ekstraktionsboringer	1	1	1*
Ydre monitoringsboringer	4	0	4
Indre monitoringsboringer	8	8	8

*Bemærk, at to filtre installeres i hver boring.

6.5 Oprensingsstrategi

Oprensningen vil foregå efter følgende principper, meget lig strategien for fuldskala oprensning:

1. Der etableres hydraulisk og pneumatisk kontrol ved start af pumpning og ekstraktion fra over og under det indskudte lerlag. Dette dokumenteres ved pejlinger og måling af vakuum i umættet zone.
2. Damp injiceres i de dybe filtre (ca. 100 kg/time per filter), mens der pumpes tilstrækkelige mængder grundvand til at skabe plads til dampen. Dampen vil på rette tidspunkt have varmet det indskudte lerlag op til nær dampetemperatur.
3. Når det nederste lag har nået en temperatur på 70-90 °C i gennemsnit, injiceres damp i det øverste lag. Der injiceres med mindre rater i det nederste lag, imens pumpning og ekstraktion justeres således, at den hydrauliske og pneumatiske kontrol bevares.
4. Når der konstateres dampgennembrud til ekstraktionsboringen, begyndes fasen med tryk-cykluser.

5. Injektionen af damp fortsætter, indtil monitoringen viser, at oprensningen har forløbet som planlagt:
 - a. Der er opnået 100 °C i det øverste lag.
 - b. Der er opnået 90 °C eller højere temperatur under det indskudte lerlag.
 - c. Der er fjernet store mængder færdigvarer, og koncentrationen i den ekstraherede luft og vand er faldet til under 1% af maksimum-værdien.
 - d. Prøvetagning af sediment viser, at den ønskede reduktion i koncentrationen er opnået.
 - e. Prøvetagning af vand viser, at nedbrydningsprodukter ikke er ophobet i uønsket høje koncentrationer. Hvis det ikke er muligt at opnå meget lave koncentrationer af alle opløste stoffer, optimeres gennemskyllningen, og det vurderes, hvornår det ikke længere er rentabelt at fortsætte gennemskyllningen.
6. Efter dampinjektionen afsluttes, pumpes og vakuumventileres der fortsat, indtil den ønskede sluttemperatur er opnået. Som et minimum skal al damp fjernes eller kondensere. I denne fase injiceres koldt vand, hvis det vurderes nødvendigt for afkølingen eller for at skylle vandopløselige nedbrydningsprodukter ud.

Bemærk, at der er planlagt prøvetagning af sediment under pilotforsøget. Dette skal forberedes, så der er tilstrækkelig plads.

6.6 Masse og energibalancer

I tabel 6.3 vises det samlede pilotvolumen og varmekapacitet med mellemregninger. I denne beregning er det indskudte lerlag antaget at være en del af det nedre lag, idet det fortrinsvis vil blive varmet nedefra af opstigende damp.

Tabel 6.3 Opgørelse af volumen og varmekapacitet for pilotskala-oprensning.

	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag*	Samlet	Enhed
Volumen, total	358	260	618	m ³
Porøsitet	0,39	0,39	0,39	-
Sedimentvolumen	219	158	377	m ³
Vandvolumen	112	101	213	m ³
Vandmætning	80	100	90	procent
Vægt af sediment	529.000	383.000	913.000	kg
Vægt af vand	112.000	101.000	213.000	kg
Sedimentets varmekapacitet	529.000	383.000	913.000	kJ/C
Vandets varmekapacitet	469.000	423.000	892.000	kJ/C
Samlet varmekapacitet	998.000	806.000	1.805.000	kJ/C

*Det indskudte lerlag er medtaget i beregningen for det nedre lag.

Der renses ca. 620 m³ forurenede sediment og vand. Porøsitet og vandmætning er estimeret ud fra målingerne i treatability forsøgene.

I tabel 6.4 er den beregnede energibalancer for pilotprojektet samt et estimat på den forventede behandlingstid præsenteret.

Tabel 6.4 Energibalance og estimat af behandlingstid for pilotforsøget.

Energibalance	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag	Samlet	
Injektionsrate, damp	211	136	347	kg/time
Ekstraktionsrate, vand	0.4	0.3	0.7	m ³ /time
Vandtemperatur	93	82	88	°C
Energiflux ind, damp	136	98	234	kW
Energiflux ud, varmt vand	42	26	68	kW
Energiflux ud, damp	20	15	35	kW
Netto energiflux ind	74	57	131	kW
Opvarmningsrate	6,2	6,0	6,1	°C/dag
Starttemperatur	10	10	10	°C
Sluttemperatur	110	110	110	°C
Varmetab, samlet	100	100	100	%
Estimeret tidsforbrug				
Etablering af hydraulisk-pneumatisk kontrol	5	5	5	dage
Injektion af damp til gennembrud	32	33	33	dage
Trykcyklusser	45	45	45	dage
Afkøling og gennemskylning	30	30	30	dage
I alt	112	113	113	dage

Den estimerede behandlingstid er ca. 113 dage (4 måneder). Den forløber som følger:

- 5 dage med etablering af hydraulisk og pneumatisk kontrol.
- Ca. 1 måned, hvor der injiceres damp - først i det nederste lag, siden i begge lag, og generelt ved nær maksimale rater for at få så god en vandret fortrængning af vand som muligt.
- 1,5 måned med trykcyklusser til optimering af opblanding og ekstraktion af flygtige stoffer.
- 1 måneds afkøling og gennemskylning med rent vand til flushing af nedbrydningsprodukter.

Projektets varighed er fleksibelt og afhænger af monitoringsresultaterne.

6.7 Anlægsstørrelse

Specifikationer på anlæggets væsentligste komponenter er angivet i tabel 6.5.

Tabel 6.5 Specifikationer på anlægskomponenter for pilotforsøg (maksimum kapaciteter).

Dampanlæg		
Vandblødgører	0.4	m ³ /time
Dampgenerator	416	kg/time
Luftekstraktion		
Væskeudskiller	370	m ³ /hr
Vakuumpumper	370	m ³ /hr
Aktivt kul, luft	370	m ³ /hr
Vandekstraktion		
Pumpe fra udskiller	0.9	m ³ /hr
Faseudskiller	1.1	m ³ /hr
NAPL tank	10	m ³
Varmeveksler (kondenser)	60	kW
Varmeveksler (vandkøler)	40	kW
Aktivt kul, vand	1.1	m ³ /hr

6.8 Monitering og prøvetagning

Tabel 6.6 indeholder et foreløbigt forslag til prøvetagning og monitering i forbindelse med pilotprojektet.

Det forventes, at monitoringsprogrammet er fleksibelt, så metoder og frekvenser justeres ud fra observationerne. Det endelige monitoringsprogram fastlægges i forbindelse med en eventuel detailprojektering.

Tabel 6.6 Forslag til monitoring og prøvetagning – pilotprojekt.

Parameter	Metode	Diskussion/forklaring
Sedimentkoncentrationer i pilotområde før behandling	Kerner udtages ved installation og analyseres for organiske stoffer og Hg	Sammenlignes med prøver udtaget efter behandling
Grundvandskoncentrationer i pilotområde før behandling	Analyseres for organiske stoffer og Hg	Sammenlignes med prøver udtaget efter behandling
DNAPL forekomst før behandling	Pejling i installerede filtre	Sammenlignes med prøver udtaget efter behandling
Grundvandsstand under forsøget	Pejling og dybde på slurpingstuder	Trykgradienter udledes – hydraulisk kontrol evalueres
Porelufttryk under forsøget	Trykmålinger	Trykgradienter udledes – vakuum og pneumatisk kontrol evalueres
Temperatur i behandlingszonen	Temperatursensorer måles manuelt	Dokumentation af opnået behandlingstemperatur af dampudbredelse
Temperatur i injektions- og ekstraktionsboringer	Temperatursensorer måles manuelt	Belyser dampzonen og boringernes effektivitet
Vandbalance	Flowmetre og pejling inden for spunsen	Indsivning og porevolumenudskiftning anvendes til kalibrering af numerisk model og opskalering til fuldskala
Energibalance	Flow, tryk, og temperaturmålinger på damp- og behandlingsanlæg	Data anvendes til kalibrering af numerisk model og opskalering til fuldskala
Luftprøver i behandlingsanlæg	Luftprøver til analyse af organiske og uorganiske parametre	Dokumentation af behandlingsgrad og data til design af fuldskalanlæg
Vandprøver i behandlingsanlæg	Vandprøver til analyse af organiske og uorganiske parametre	Dokumentation af behandlingsgrad og data til design af fuldskalanlæg
Miljø-relaterede målinger	Luftkvalitet, lugt, flora, fauna	Belyser den termiske metodes indvirkning på det omgivende miljø
Korrosionsparametre	Inspektion af boringer og kuponer	Til valg af optimale materialer for fuldskalabehandling
Eksplodingsrisiko	Måling af eksplosionsrisiko på ekstraheret luft	Til vurdering af eksplosionsrisikoen i/ved afværgeanlægget under oprensningen
Sedimentkoncentrationer i pilotområde efter behandling	Kerner udtages ved installation og analyseres for organiske stoffer og kviksølv	Sammenlignes med koncentrationer før behandling
Grundvandskoncentrationer i pilotområde efter behandling	Analyseres for organiske stoffer og kviksølv	Sammenlignes med koncentrationer før behandling
DNAPL forekomst efter behandling	Pejling i installerede filtre	Sammenlignes med koncentrationer før behandling

6.9 Overslag over omkostninger ved pilotprojekt

Størrelsesordenen for omkostningerne forbundet med gennemførelse af det beskrevne pilotforsøg er estimeret i tabel 6.7. De angivne priser er baseret på et indledende prisoverslag og afhænger af det nøjagtige omfang af pilotprojektet. Alle priser er angivet i tusinde kroner ekskl. moms.

Tabel 6.7 Prisoverslag – gennemførelse af pilotprojekt.

Projektfase	Honorar inkl. interne udlæg [1.000 kr.]	Entreprenørudgifter [1.000 kr.]
Procesdesign	600	-
Tilsyn og slutdokumentation	30	-
Monitering, inkl. slutdokumentation	350	50
Projektstyring og afrapportering	100	-
Entreprenørudgifter, damp- og behandlingsanlæg	-	5.200

Udgiften til gennemførelse af pilotprojektet beløber sig til i størrelsesordenen 6 mio. kr. ekskl. moms, afhængigt af den nøjagtige udførelse af pilotprojektet, forureningsindhold i pilotområdet, omfang af monitoringsprogrammer samt korrosions- og eksplosionstest mv.

Udgifter til procesdesign indeholder kunde- og myndighedskontakt, samt detalprojektering af pilotanlægget, herunder modelarbejde for pilotanlægget. I tilsynsprisen er indregnet udgifter til tilsyn ved etablering af borer, afværgeanlæg samt spuns.

Monitering omfatter monitering af anlægget og relevante massestrømme 3 gange ugentligt i en oprensningsperiode på ca. 4 måneder. Analyseomkostninger er ikke prissat, idet analyseomfanget på nuværende tidspunkt er ukendt. I monitoringsprisen er endvidere indregnet daglig behandling af bl.a. temperaturdata og prøvedata fra oprensningen med henblik på at optimere pilotprojektets gennemførelse. Samtidig er indregnet borearbejde til dokumentation af forureningsniveauer både før og efter endt oprensning.

Entreprenørudgiften er baseret på overslagspriser fra Arkil Miljøteknik. Dampanlægget forudsættes udstyret med dobbelt kedelanlæg med henblik på at sikre en pålidelig forsyningsikkerhed samt at undgå ophold i dampinjektionen ved bundudblæsninger og vedligeholdelse af kedelanlæg. Der er ikke indregnet udgifter til fremføring af el og vand til afværgeanlægget. Overslagsmæssigt vil etablering og afrigning af anlæg udgøre en post på ca. 2,6 mio. kr. inkl. etableringen af spuns omkring pilotområdet samt etablering af membran. I prisen er endvidere indregnet 1.800 kg vandkul samt 2.000 kg luftkul.

I pilotprojektet forudsættes gængse rørmaterialer anvendt (ST37). Der er dog i ovenstående prisoverslag regnet med en sværere godstykkelse end normalt.

Driftsudgiften af damp- og behandlingsanlæg beløber sig til størrelsesordenen ca. 500.000 kr. månedligt. Heri er indregnet udgifter til elforbrug, service og vedligeholdelse af anlæg, samt ca. 3 timers bemanning af anlægget i 5 af ugens 7 dage.

Udgifter til udskiftning af aktivt kul er ikke indregnet, men det bør overvejes, om de oppumpede vandmængder (ca. 1,1 m³/time) kan afledes til den eksisterende vandbehandling i Kulhuset. Udgifter til brændstof til dampgeneratorerne er prissat til ca. 450.000 kr.

Der er indregnet i alt 200.000 kr. til nærmere undersøgelse af eksplosions- og korrosionsrisiko.

Den endelige pris på anlægget afhænger endvidere af, i hvilket omfang de enkelte anlægselementer bliver ødelagt af det korrosive miljø i høfdedepotet. Således har Arkil Miljøteknik oplyst, at der kan påregnes en ekstraudgift på op mod 500.000 kr., såfremt vakuumpumper, varmevekslere mv. skal afskrives fuldstændigt i pilotprojektet.

Der er i prisoverslaget indregnet en driftsperiode på 4 måneder for pilotprojektet. Denne forholdsvis lange periode er valgt for nærmere at belyse oprensningseffekt og korrosionsrisiko for langtidspåvirkninger. Driftsudgiften af anlægget inkl. monitoring beløber sig til op mod 600.000 kr. pr. måned inkl. monitoring. Der vil således kunne opnås en væsentlig besparelse, såfremt en kortere driftstid af anlægget kan accepteres.

6.10 Yderligere anbefalinger

I forbindelse med projektets Fase 2 skal det overvejes, om følgende aktiviteter skal udføres:

- Supplerende laboratorieforsøg til belysning af mekanismer og betydning af trykcyklusser for dampbehandling (bygger på fase 1 observationerne beskrevet i afsnit 3).
- Detaljeret korrosionsstudium for metaller og andre materialer til anvendelse i borer, rørføringer, og behandlingsanlæg.
- Laboratorieforsøg til belysning af basisk kogning som forbehandling af vand.
- Laboratorieforsøg til vurdering af bedste metoder til behandling af polære stoffer i vand.
- Analyse af muligheden for at integrere behandling af vand og/eller luft med Cheminovas eksisterende anlæg.
- Simple dampinjektions-forsøg inden for nuværende spuns til belysning af variabiliteten i permeabilitet og modstand mod dampflow. Dette kan gøres i enkle borer, hvert forsøg kan udføres på ca. en dag med et mobilt dampanlæg (100 kg/time kapacitet).

Disse aktiviteter vil, sammen med pilotprojektet, kunne give et forbedret designgrundlag for fuldskalaoprensningen.

7 Pilotprojekt med damp eller ISTD

I Appendiks 1 er fuldskala termisk oprensning og pilotforsøg med ISTD nærmere beskrevet.

På det nuværende stade af projektet er der ikke truffet beslutning om, med hvilken metode en eventuel termisk oprensning vil blive gennemført. På det foreliggende grundlag vurderes såvel oprensning ved dampstripping som ISTD samt en kombination af disse metoder at have en meget væsentlig oprensningseffekt og medføre en betydelig risikoreduktion.

Oprensning baseret på anvendelse af ISTD rummer mulighed for at opnå højere temperaturer og hermed øget oprensningseffekt for de fleste stoffer samt en betydelig fjernelse af kviksølv, som ikke påvirkes i væsentligt omfang ved en dampoprensning til ca. 100 °C. Løsninger baseret på ISTD – og specielt ved temperaturer over 100 °C – medfører dog ligeledes større omkostninger. Det skal bemærkes, at det i Appendiks 1 beskrevne ISTD-anlæg er dimensioneret og prissat mhp. på at opnå temperaturer i de koldeste dele af oprensningsvolumenet på 100 °C. I tilfælde af, at der ønskes højere temperaturer i oprensningsvolumenet, skal der foretages ændringer i det beskrevne design.

I relation til gennemførelsen af et pilotprojekt vil det være hensigtsmæssigt, at der kan tilvejebringes et rimeligt grundlag for design af fuldskalaløsninger for såvel en damp- som en ISTD-oprensning.

Som det fremgår af tabel 7.1, er omkostningerne ved gennemførelse af et pilotprojekt med ISTD væsentligt lavere end tilsvarende med damp (i modsætning til omkostningerne til fuldskala, hvor udgiften ved en dampopløsning er estimeret til ca. 110 mio. kr., mens udgiften til en ISTD-løsning er estimeret til ca. 186 mio. kr.). Det er således oplagt at vurdere, i hvilket omfang et pilotprojekt med ISTD ligeledes kan danne grundlag for design af en eventuel dampoprensning. I tabel 7.1 er nøgletal for pilotprojekt med hhv. damp- og ISTD angivet:

Tabel 7.1 Sammenligning af pilotforsøg med hhv. damp og ISTD.

		Pilotprojekt med damp	Pilotprojekt med ISTD
Prisniveau	mio. kr.	5,2	3,0
Oprenset jordmængde	m ³	618	19
Driftstid (ekskl. anlægsfase)	dage	113	84
Vurderet oprensningseffektivitet (for ethyl-parathion)	%	90-99	90-99
Arbejds miljømæssige forhold		Overordnet set samme som ved ISTD – dog kræves ikke i samme omfang særlig sikring ved anvendelse af høje spændinger og strømstyrker	Overordnet set samme som ved damp – dog kræves særlig sikring ved anvendelse af høje spændinger og strømstyrker

Det vurderes at være muligt, baseret på et pilotprojekt med ISTD, at belyse muligheden for afvanding og opsamling af fri fase med de påtænkte boringer/slurpingsystemet, effekten af den afskærende barriere over oprensningsvolumenet, behandlingsanlæggets opbygning/effekt og til bestemmelse af oprensningseffekten over for færdigvarerne ved 100°C - svarende til ved en dampoprensning - såvel som ved højere temperatur.

Dette forudsætter dog, at monitoringen fokuseres på områder, hvor opvarmningen ikke på noget tidspunkt har oversteget 100 °C.

Et ISTD pilot projekt vil derimod ikke umiddelbart belyse mulige injektionsrater for damp og dampens udbredelsesmønster i og uensartede opvarmning af den aktuelle geologi. Specielt injektionsmulighederne og dampens udbredelse under det indskudte lerlag er afgørende for design af en fuldskala oprensning ved brug af damp.

Injektionsmulighederne vil kunne estimeres i nogen grad, såfremt et ISTD pilot projekt blev suppleret med slug-tests i boringer udbygget med korte, adskilte filterstrækninger over hele oprensningsintervallet. Endvidere er gennemstrømningen af vand mindre ved et ISTD projekt end ved damp, hvorfor oprensningseffekten overfor de polære syrer, som dannes, må forventes at være mindre ved ISTD end damp. Et eventuelt ISTD pilot projekt foreslås derfor udvidet med en kortvarig gennemskylning med varmt vand (ca. 100 °C) efter opvarmningen til 100 °C, og inden der foretages opvarmning til højere temperaturer.

Med hensyn til korrosionsforhold og eksplosionsrisici vil der opnås meget sammenlignelige resultater med de to metoder.

Det vurderes, at en fuldskala termisk løsning ville baseres på dampstripping for områder med tilstrækkelig permeabilitet og dampudbredelse, suppleret med ISTD opvarmning i områder, hvor dampen eventuelt ikke kan injiceres med tilstrækkelige rater, eller ikke kan spredes i de mest forurenede dybder. Under etablering af fuldskaalanlægget vil disse områder blive identificeret ved hydrauliske test i de installerede dampinjektions- og ekstraktions-boringer, suppleret med dampinjektionstests. For bedst at vurdere, hvilken fuldskaal metode der fører til de bedste resultater, og hvor grænsen går mellem damp

og ISTD, burde begge pilotforsøg udføres. Dette er dog ikke realistisk. Det anbefales derfor, at de følgende trin følges:

1. Pilotforsøg med ISTD udføres.
2. Hydrauliske tests udføres på et antal filtersatte boringer.
3. Dampinjektions-rater modelleres ud fra de målte parametre.

Med det samlede vidensgrundlag kan der herefter vurderes, om dampinjektion kan benyttes til at skabe den ønskede temperatur og behandling, og under hvilke forhold ISTD muligvis er nødvendig.

8 Referencer

Aktor Innovation, 2004, "Høfde 42 depotet – Litteraturundersøgelse og modelbeskrivelse af naturlig nedbrydning af parathion", Miljøstyrelsen, Notat af 24. maj 2004.

Baker, R.S., J.P. Galligan, D. Gregory, D.M. Conley, S. Hall, and P. Patton. 2000. "In Situ Thermal Desorption Treatability Study at Rocky Mountain Arsenal Hex Pit." *Presented at the 2nd International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds*, Monterey, CA, May 22-25, 2000.

Baker, R.S., and Bierschenk, J.M. 2001. "In-Situ Thermal Destruction Makes Stringent Soil And Sediment Cleanup Goals Attainable." *In: Proceedings of the Fourth Tri-Service Environmental Technology Symposium*, 18-20 June 2001, San Diego, CA.

Baker, R.S., Galligan, J.P., McLaughlin, H., Semenak, R., Pologruto, M.P., and Weeks, K.R. 2001. "In-Situ Thermal Destruction Treatability Study Of Explosives-Contaminated Soil From Massachusetts Military Reservation." *In: Proceedings of the Fourth Tri-Service Environmental Technology Symposium*, 18-20 June 2001, San Diego, CA.

Baker, R.S. and M. Kuhlman. 2002. "A Description of the Mechanisms of In-Situ Thermal Destruction (ISTD) Reactions." In: H. Al-Ekabi (Ed.), *Current Practices in Oxidation and Reduction Technologies for Soil and Groundwater*, *Presented at the 2nd International Conf. on Oxidation and Reduction Technologies for Soil and Groundwater, ORTs-2, Toronto, Ontario, Canada*, Nov. 17-21.

Baker, R.S. and J.C. LaChance. 2002. "In-Situ Thermal Destruction (ISTD) Performance Relative to Dioxins." In: H. Al-Ekabi (ed.) *Current Practices in Oxidation and Reduction Technologies for Soil and Groundwater*, (in press) *Presented at the 2nd International Conf. on Oxidation and Reduction Technologies for Soil and Groundwater, ORTs-2, Toronto, Ontario, Canada*, Nov. 17-21, 2002.

Baker, R.S. and John C. LaChance 2003. "Performance Relative to Dioxins of the In-Situ Thermal Destruction (ISTD) Soil Remediation Technology". Submitted for publication in *Proceedings of Dioxin*, 2003, Boston, MA, Aug. 24-29, 2003.

Baker, R.S., J.C. LaChance, M.W. Kresge, R.J. Bukowski, J.P. Galligan, K. Parker, C.M. Duteau, M. Kuhlman and E.H. White. 2004b. "In-Situ Thermal Destruction (ISTD) of MGP Waste in a Former Gasholder: Design and Installation." *Proceedings of the 4th International Conf. on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, Monterey, CA, May 24-27, 2004*. Battelle, Columbus, OH.

Baker, R.S., G. Heron 2004. "In-Situ Delivery of Heat by Thermal Conduction and Steam Injection for Improved DNAPL Remediation". Paper 2B-18, in: A.R. Gavaskar and A.S.C. Chen (Eds.), *Remediation of Chlorinated and*

Recalcitrant Compounds—2004. Proceedings of the Fourth International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds (Monterey, CA; May 2004). Battelle Press, Columbus, OH,

Bierschenk, J.M., R.S. Baker, R.J. Bukowski, K. Parker, R. Young, J. King, T. Landler, and D. Sheppard (2004). "Full-Scale Phase 1a Results of ISTD Remediation at Former Alhambra, California Wood Treatment Site." *Proceedings of the 4th International Conf. on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, Monterey, CA, May 24-27, 2004*. Battelle, Columbus, OH.

Breinbjerg, B., 2006. Oplyst mundtligt af Bo Breinbjerg, Cheminova, oplysninger fra Cheminovas datablade.
Christensen, 2006, Interview af Knud Erik Christensen, som tidligere har været ansat på Cheminova med dagligt tilsynsarbejde af afværgeprojekterne på Rønland og Gl. Fabriksgrund.

Chaplin, M, 2006, "Ionization of Water", Lecture notes, London South Bank University, fundet på internetadressen <http://www.lsbu.ac.uk/water/ionis.html> den 19. juli 2006.

Chemfinder, 2006, Søgning foretaget på Internettet på adressen: <http://chemfinder.cambridgesoft.com>, april 2006.

Cheminova, 1988, "Hydrolyse af færdigvarer i spildevand", Internt arbejdsdokument, Irene Weyergang, 28. juni 1988.

Conley, D.M., and K. Jenkins. 1998. "Application of ISTD to Remediate PCBs from Soil at the Former Mare Island Naval Shipyard, Vallejo, CA." *Presented at the 3rd Annual Tri-Service Conference*, San Diego, CA., August 15-17, 1998.

Conley, D.M., and C.M. Lonie. 2000. "Field Scale Implementation of In Situ Thermal Desorption Thermal Well Technology." pp. 175-182. *In: G.D. Wickramanayake and A.R. Gavaskar (eds.) Physical and Thermal Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds*. Battelle Press, Columbus, OH.

Conley, D.M., K.S. Hansen, G.L. Stegemeier, H.J. Vinegar, F.R. Fossati, F.G. Carl, and H.F. Clough. 2000. "In Situ Thermal Desorption of Refined Petroleum Hydrocarbons from Saturated Soil." Pp. 197-206. *In: G.D. Wickramanayake and A.R. Gavaskar (eds.) Physical and Thermal Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds*. Battelle Press, Columbus, OH.

COWI, 2004, "Etablering af spunsvæg ved Høfdedepot på Harboøre tange, Vurdering af korrosionsrisiko på spunsvæggen", Ringkjøbing Amt, Teknik og Miljø, maj 2004.

Damborg, 2006, Personlig kommentar. Peter Damborg er ansat på Cheminova og arbejder bl.a. med vurdering af stabiliteten af Cheminovas produkter i forbindelse med opvarmning.

Davis, E.L. 1999. "Laboratory treatability studies on steam remediation of creosote-impacted Wyckoff soils". *Draft report presented to the ITTAP panel*,

Seattle, WA. October 1999. US EPA National Risk Management Laboratory, Ada, OK.

Evans, J.M., Charlton, D.S., Harju, J.A., Kuhnel, V. & Stepan, D.J. 1995, "Mercury-contaminated soil remediation technologies.", *Operating Section Proceedings - American Gas Association*, , pp. 265-273.

Freed, V.H., Chiou, C.T. & Schmedding, D.W. 1979, "Degradation of selected organophosphate pesticides in water and soil.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 27, no. 4, pp. 706-708.

Geomatrix and TerraTherm 2005. "Final Report for ISTD Treatment at Terminal 1, City of Richmond". Geomatrix Consultants, Oakland, California.

Halloran, A.R., Bozzini, C. & Romanow, S. 1993, "Treatability testing of soil from a pesticide-manufacturing facility.", *Proc. - Water Environ. Fed. Annu. Conf. Expo.*, 66th, vol. 5, pp. 223-231.

Hannah, D.J., Coniglio, B., Kathiravelu, B. & Smart, R. 1997, "Remediation of dioxin, pentachlorophenol, and organochlorine pesticide contaminated soils.", *Organohalogen Compounds*, vol. 31, pp. 370-375.

Hansen, K.S., D.M. Conley, H.J. Vinegar, J.M. Coles, J.L. Menotti, and G.L. Stegemeier. 1998. "In Situ Thermal Desorption of Coal Tar." *Proceedings of the Institute of Gas Technology/Gas Research Institute International Symposium on Environmental Biotechnologies and Site Remediation Technologies*. Orlando, FL, December 7-9, 1998.

Heron, G.; T.H. Christensen, T. Heron, and T.H. Larsen. 1998. "Thermally enhanced remediation at DNAPL sites: The competition between downward mobilization and upward volatilization". *In Proceedings of The First International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds*, May 18-21, Monterey, CA, Battelle Press 1(2): 193-198.

Heron, G., Carroll, S., and Nielsen, S.G.D., 2005. "Full-Scale Removal of DNAPL Constituents using steam enhanced extraction and electrical resistance heating". *Ground Water Monitoring and Remediation*, 25(4): 92-107.

Heron, G., 2006. Mundtligt oplyst af Gorm Heron, Vicepræsident og Senior ingeniør hos TerraTherm, 356 Broad Street Fitchburg, MA, USA.

Heron, G. og J.Galligan. 2006. Upubliceret data om korrosion og materialer anvendt til ISTD for chlorerede benzener og pesticider. TerraTherm, Fitchburg, MA, USA.

Hodges, H.I. 1995, "Treating soils with heat", *Military Engineer*, vol. 87, no. 573, pp. 33-35.

Holcomb, D.H., Pitts, D.M., Troxler, W.L., Marchesi, P. & Cleary, J.P. 1998, "Soil restoration with superheated steam remediation, recycle, and recovery (SuperSTR3).", *Designing and Applying Treatment Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 1st, Monterey, Calif., May 18-21, 1998*, , pp. 21-26.

Jacobsen, C.S., S. Elmholt, C.B. Jensen, P.B. Jakobsen, and M. Bender, 2005, "Steam treatment of contaminated groundwater aquifers – development of pathogenic micro-organisms in soil", *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin* 7, pp 37-40, 2005.

Jessen, 2006, Interview af Jess Jessen, som er tidligere ansat ved Cheminova, hvor han som Mester igennem mange år forestod drift og vedligehold af bl.a. afværgeprojekterne på Rønland og Gl. Fabriksgrund.

Knauss, K.G., M.J. Dibley, R.N. Leif, D.A. Mew, and R.D. Aines. 1999, "Aqueous Oxidation Of Trichloroethylene: A Kinetic Analysis." *Applied Geochemistry*, 14, pp. 531-541.

Koustas, R.N. & Fischer, D. 1998, "Review of separation technologies for treating pesticide-contaminated soil", *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 48, no. 5, pp. 434-440.

Kruuse, J., 2006, Mailkorrespondance med John Kruuse, forskningsbibliotekar på Statsbiblioteket, Århus, April 2006

Kucharski, R., Zielonka, U., Sas-Nowosielska, A., Kuperberg, J.M., Worsztynowicz, A. & Szdzuj, J. 2005, "A method of mercury removal from topsoil using low-thermal application.", *Environmental monitoring and assessment*, vol. 104, no. 1-3, pp. 341-351.

Kunkel, A.M., J.J. Seibert, L.J. Elliott, R.L. Kelley, L. E. Katz, and G.A. Pope, "Remediation of Elemental Mercury Using In Situ Thermal desorption (ISTD)", Paper 4C-07, *Remediation of chlorinated and Recalcitrant Compounds – 2004, Proceedings of the Fourth International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds*, Monterey, CA, May 2004

LaChance, J.C., R.S. Baker, J.P. Galligan, and J.M. Bierschenk (2004). "Application of 'Thermal Conductive Heating/In-Situ Thermal Desorption (ISTD)' to the Remediation of Chlorinated Volatile Organic Compounds in Saturated and Unsaturated Settings." *Proceedings of Battelle's Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds*, Monterey, CA, May 24, 2004.

Lagadec, A.J.M., Miller, D.J., Lilke, A.V. & Hawthorne, S.B. 2000, "Pilot-scale subcritical water remediation of polycyclic aromatic hydrocarbon- and pesticide-contaminated soil", *Environmental science & technology*, vol. 34, no. 8, pp. 1542-1548.

Lapholm, 2006, Oplyst af Lapholm, som er ansat på Cheminova, hvor Lapholm arbejder med produktionsforhold.

Mabey, W. 2006. Personlig kommunikation angående nedbrydning af chlorede pesticider. William Mabey, Chief Chemist, TechLaw Consultants, Oakland, California.

Miljøstyrelsen, 2000, "Dampoprensning med vacuumeekstraktion", *Miljøprojekt nr. 552, Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening, 2000*

- Miljøstyrelsen, 2003a, "Dampoprensning under en bygning", *Miljøprojekt nr. 749, Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening, 2003*
- Miljøstyrelsen, 2003b, "Termisk assisteret vakuume ekstraktion af PCE", *Miljøprojekt nr. 824, Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening, 2003*
- Miljøstyrelsen, 2004, "Dampoprensning af klorerede opløsningsmidler på tidligere industrigrund i Hedehusene", *Miljøprojekt nr. 877, Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening, 2004*
- NIRAS, 2005, "Beregning af forureningsmasse. Høfde 42 på Harboøre Tange.", Ringkjøbing Amt, 22. november 2005.
- NIRAS og TerraTherm, 2005, "Mulig termisk assisteret oprensning af høfdedepotet, Høfde 42, Harboøre Tange" Oplæg og tilbud på fase 1: Projektbeskrivelse og forundersøgelse, Miljøstyrelsen, 12. december 2005
- Rayner-Canham, Geoff, 1995, "Descriptive inorganic chemistry", *W.H. Freeman and Company, New York*, Third printing 1997, pp. 122-124.
- Rotich, H.K., Zhang, Z., Zhao, Y. & Li, J. 2004, "The adsorption behavior of three organophosphorus pesticides in peat and soil samples and their degradation in aqueous solutions at different temperatures and pH values.", *International journal of environmental analytical chemistry*, vol. 84, no. 4, pp. 289-301.
- Sharmila, M., Ramanand, K., Adhya, T.K. & Sethunathan, N. 1988, "Temperature and the persistence of methyl parathion in a flooded soil.", *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 20, no. 3, pp. 399-401.
- Sheldon, R.B., I.E.T. Iben, W.A. Edelstein, H.J. Vinegar, E.P. deRouffignac, F.G. Carl, J.L., Menotti, J. Coles, J.M. Hirsch, W.B. Silverstein, S.R. Blaha, C.R. Scatena, and G.W. Siegel. 1996. "Field Demonstration of a Full-Scale In-Situ Thermal Desorption System for the Remediation of Soil Containing PCBs and Other Hydrocarbons," *Proceedings of the HAZWaste World-Superfund XVII Conference*, Washington, D.C., Oct. 15-17, 1996.
- SRC PhysProb, 2006, Søgning foretaget på internettet på adressen: <http://www.syrres.com/esc/physdemo.htm>, april 2006.
- Steigemeier, G.L. and Vinegar, H.J., 2001. "Thermal Conduktion Heating For In-situ Thermal Desorption Of Soils", *Hazardous & Radioactive Waste Treatment Technologies Handbook*, Ch4.6-1, Oh, Chang H. (Ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida
- Sørensen, 2006 a, Mundtligt oplyst af Hans-Søren Sørensen, Teknikumingeniør, Miljøafdelingen, NIRAS Rådgivende Ingeniører og planlæggere, Aaboulevarden 80, 8000 Århus C.
- Sørensen, 2006 b, Mundtligt oplyst af Claus Ove Sørensen, driftsingeniør for Cheminovas Spildevandsbehandlingsanlæg.
- Todd, L., K. Guy, and R. S. Baker, 2004, "Lessons Learned From The Application Of In Situ Thermal Destruction of Hexachlorocyclopentadiene Waste At The Rocky Mountain Arsenal" *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds – 2004, Proceedings of the Fourth International Conference*

on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, Monterey, CA, May 2004

Toxnet 2006, Søgning foretaget på internettet på adressen:
<http://www.toxnet.nlm.nih.gov/>, april 2006.

Udell, K.S. 1996, "Heat and mass transfer in clean-up of underground toxic wastes." *Annual Reviews of Heat Transfer*, Vol. 7, Chang-Lin Tien, Ed.; Begell House, Inc.: New York, Wallingford, UK, pp. 333-405.

Vinegar, H.J., E.P. deRouffignac, R.L. Rosen, G.L. Stegemeier, M.M. Bonn, D.M. Conley, S.H. Phillips, J.M. Hirsch, F.G. Carl, J.R. Steed, D.H. Arrington, P.T. Brunette, W.M. Mueller, and T.E. Siedhoff. 1997. "In Situ Thermal Desorption (ISTD) of PCBs", *Proceedings of the HazWaste/World Superfund XVIII Conference*, Washington, DC, December 2, 1997.

Wang, T.C. & Hoffman M.E. 1991, "Degradation of Organophosphorus Pesticides in Coastal Water", *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, vol. 74, no. 5, pp. 883-886.

Zeinali, M. & Torrents, A. 1998, "Mercury-Promoted Hydrolysis of Parathion-methyl: Effect of Chloride and Hydrated Species.", *Environmental Science and Technology*, vol. 32, no. 15, pp. 2338-2342.

Appendiks 1

I dette appendiks beskrives mulighederne for at benytte den termiske metode In-Situ Thermal Desorption (ISTD) som et alternativ til den i hovedrapporten beskrevne løsning med opvarmning af det forurenede område inden for spunsen ved brug af damp.

Omfanget af en fuldskalaoprensning ved ISTD er skitseret, ligesom der i appendikset ligeledes præsenteres anbefalinger til pilotskalaaktiviteter.

For både fuldskala- og pilotskalaløsningen er det anlægsmæssige design samt hovedtrækkene i oprensningsstrategien skitseret. Løsningernes forventede forbrug af ressourcer i form af bl.a. energi er skønnet, ligesom der er udarbejdet et økonomisk overslag over omkostningerne forbundet med gennemførelsen af hhv. fuldskalaoprensning og pilotprojekt ved anvendelse af ISTD.

1 Fuldskalaoprensning med ISTD

I dette afsnit beskrives den alternative termiske løsning med opvarmning af det forventede kildeområde inden for den allerede etablerede spuns ved brug af ISTD, og en samtidig hydraulisk og pneumatisk kontrol i oprensningsperioden. Løsningens anlægsmæssige design samt hovedtrækkene i oprensningsstrategien præsenteres, og der gives et prisoverslag over omkostningerne forbundet med gennemførelse af den præsenterede termiske løsning, ligesom den forventede oprensningseffektivitet, kritiske elementer samt usikkerheder præsenteres.

1.1 Koncept for fuldskalaoprensning med ISTD

Konceptet for den planlagte fuldskalaoprensning præsenteres i det følgende.

1.1.1 Valg af areal og dybde

Der fokuseres på arealet inden for den allerede etablerede spuns, som omkranser den væsentligste del af forureningen i høfdedepotet. Arealet fremgår af figur 1.1.

Figur 1.1. Kort med forventet behandlingsareal. Copyright NDO Cowi



Der behandles termisk både over og under det indskudte lerlag. Forureningsmassen under det indskudte lerlag er langt mindre end massen over det indskudte lerlag, men ved opvarmning under lerlaget opnås mulighed for en delvis fjernelse af den forurening, som måtte have spredt sig under det indskudte lerlag. Samtidig medfører opvarmningen under det indskudte lerlag, at der med større sandsynlighed opnås en tilstrækkelig opvarmning af den frie fase, som der i visse dele af depotet er beliggende umiddelbart oven på det indskudte lerlag.

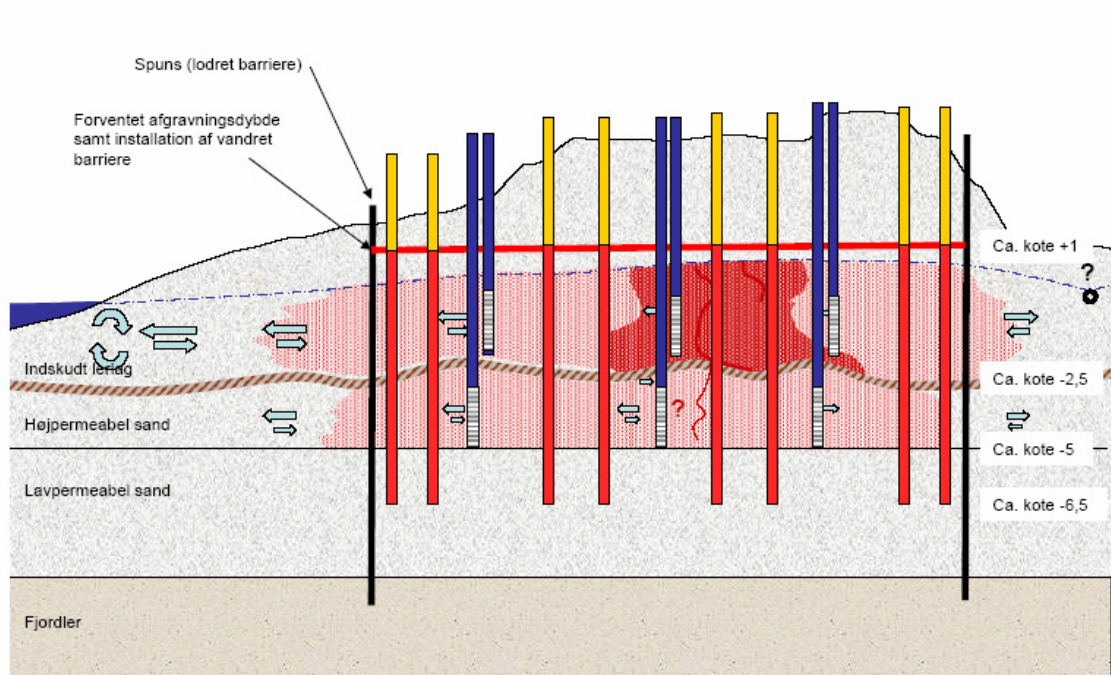
Det vurderes, at størstedelen af den forurening, der er beliggende under det indskudte lerlag, befinder sig i en zone svarende til ca. 2 m under det indskudte lerlag, idet permeabiliteten i det siltede og lerede sandlag mellem det indskudte lerlag og fjordleren er stærkt faldende med dybden (i retningen mod fjordleren). Endvidere vil også langt den største transport af forurening ske i de øvre 2 meter af sandlaget mellem fjordleren og det indskudte lerlag. På denne baggrund er det vurderet mest hensigtsmæssigt udelukkende at behandle de øverste 2 meter af sandlaget under det indskudte lerlag.

Endvidere vurderes det hensigtsmæssigt at nedgrave en luft- og vandtæt membran umiddelbart over afgravningsniveauet i 1981. Membranen skal udføres således, at den forbliver vand- og lufttæt i oprensningsperioden. Ved etablering af membranen opnås en langt større pneumatisk kontrol i oprensningens volumen, ligesom varmens udbredelse og damp, der dannes som følge af opvarmningen, lettere kan kontrolleres med et deraf følgende mindre varmetab til følge. Samtidig forhindrer membranen, at oprensningsområdet afkøles af nedsivende regnvand. Membranen skal således udformes, så nedsivende vand afledes/kan oppumpes. Membranen kan eksempelvis etableres af asfalt eller lignende.

Som udgangspunkt er det forudsat, at membranen etableres i ca. kote +1 ved afgravning af det uforurenede sand mellem den nuværende terrænoverflade og kote +1. Det indskudte lerlag har overside i ca. kote -2,5, mens den nedre afgrænsning af oprensningens volumen vurderes at være i ca. kote -5. Således forventes det totale oprensningens volumen at strække sig fra kote -5 til kote +1. For at sikre en tilstrækkelig opvarmning i bunden af behandlingszonen, føres ISTD-varmeboringerne til kote -6,5, således at der tilføres varme til ca. 1,5 meter under bunden af behandlingszonen.

I Figur 1.2 er præsenteret et konceptuelt tværsnit af oprensningen.

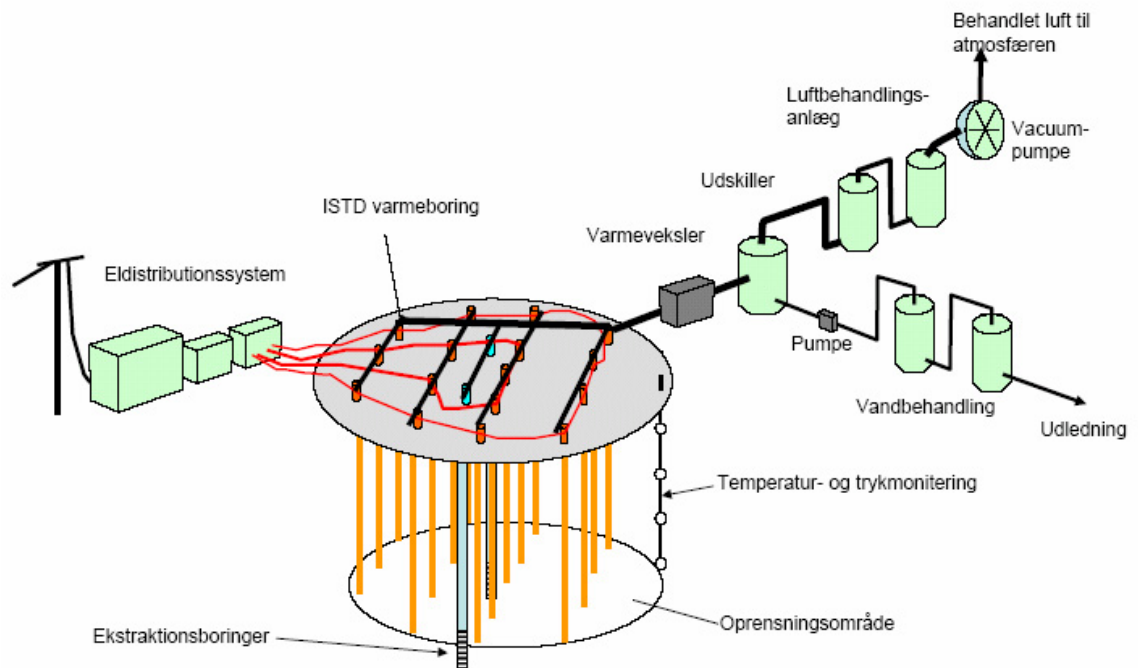
Figur 1.2. Konceptuel tværsnit med ISTD opvarmning og ekstraktion af vand og gasser over og under det indskudte lerlag.



1.1.2 Overordnet procesbeskrivelse

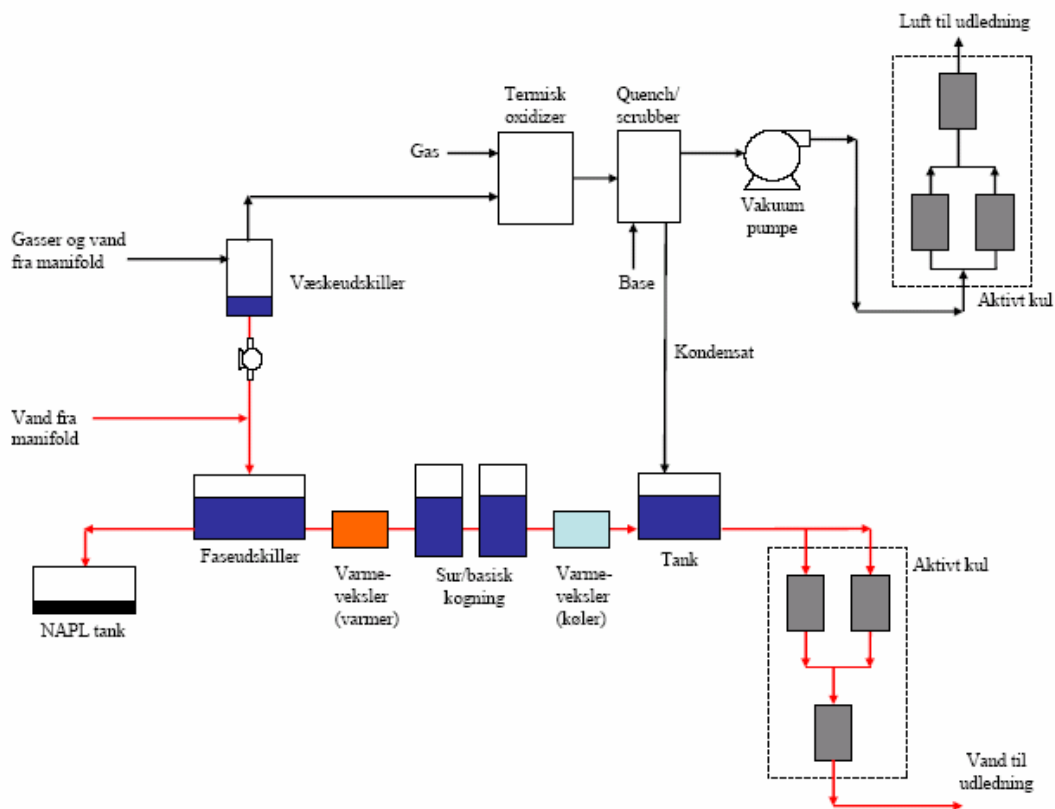
ISTD-opvarmningen gennemføres ved tilførsel af energi fra el-nettet. En principskitse for ISTD-anlægget er vist i figur 1.3.

Figur 1.3. Principskitse af anlæg til ISTD opvarmning.



Anlægget til behandling til ekstraheret vand, DNAPL, og gasser (damp, luft, organiske stoffer samt uorganiske gasser) er skitseret i figur 1.4 og er tilsvarende det anlæg, som er anbefalet ved damp-løsningen.

Figur 1.4. Skitse af anlæg til behandling af ekstraheret væske og gas.



Anlægget vil blive opbygget af komponenter, som har vist sig anvendelige og robuste i forhold til de aktuelle stoffer. Fra manifolden med gasser og ekstraheret væske adskilles gas (luft) og væske. Luften behandles først i en termisk oxidizer, hvor alle organiske stoffer afbrændes. Her kan uorganiske stoffer ligeledes reagere, og det forventes, at luftstrømmen ud af forbrændingskammeret er "normaliseret", dvs. domineret af forbrændingsprocessen, hvor store mængder ilt reagerer med organiske stoffer og det tilførte brændsel (gas). Ved afbrændingen dannes syre, som neutraliseres i den efterfølgende "quench/scrubber", hvor luftstrømmen afkøles til ca. 30-40 °C, og samtidig neutraliseres ved tilførsel af base (typisk NaOH). Den kølede luft efterbehandles med aktivt kul for at efterpolere til meget lave koncentrationer inden udledning til atmosfæren.

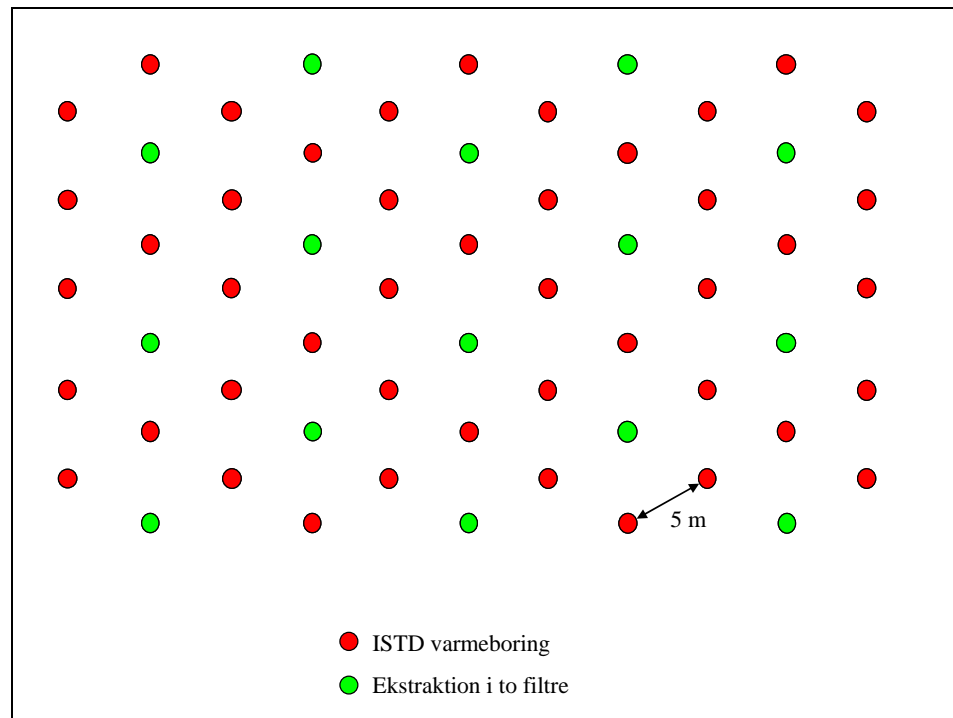
Væsken ledes fra væskeudskilleren til en faseudskiller, hvor NAPL og partikulært materiale fraskilles. Væsken, som efter faseudskilleren stadig kan indeholde dråber af NAPL og høje opløste koncentrationer, behandles derefter ved basisk kogning. Kryds-varmevekslere anvendes til at minimere energiforbruget til dette. Efter denne forbehandling poleres vandet ved lavere temperatur ved filtrering med aktivt kul før udledning.

Det kan muligvis vise sig nødvendigt at behandle det oppumpede grundvand fra høfdepotet i et biologisk rensningsanlæg inden udledning, idet det ikke er tilstrækkeligt belyst, hvorvidt f.eks. metabolitter som P1- og P2-syrer fjernes i tilstrækkeligt omfang under oprensningen og/eller ved den ovenfor beskrevne vandbehandling. Behovet for en biologisk behandling af oppumpet vand skal nærmere belyses i en evt. detailfase af projektet.

1.1.3 Boringsdetaljer og placering

ISTD borerne afgiver varme over hele længden af varmelegemerne fra ca. kote +1 til kote -6.5. En del af den afsatte varme fører til kogning af grundvandet, hvorved damp produceres in-situ. Det vurderes, at dampen dannet under det indskudte lerlag vil udbrede sig vandret mellem det indskudte lerlag og den mere lavpermeable del af sandlaget under det indskudte lerlag. Ligeledes vil dampen produceret over det indskudte lerlag udbredes horisontalt, men også stige opad, indtil den bremses af den installerede vandrette barriere (se figur 1.2). En ISTD varmeboringsafstand på ca. 5 meter har været anvendt i lignende tilfælde. Hver ekstraktionsboring er omringet af seks ISTD-varmeboringer. Derfor placeres borerne i et hexagonalt mønster som vist i figur 1.5.

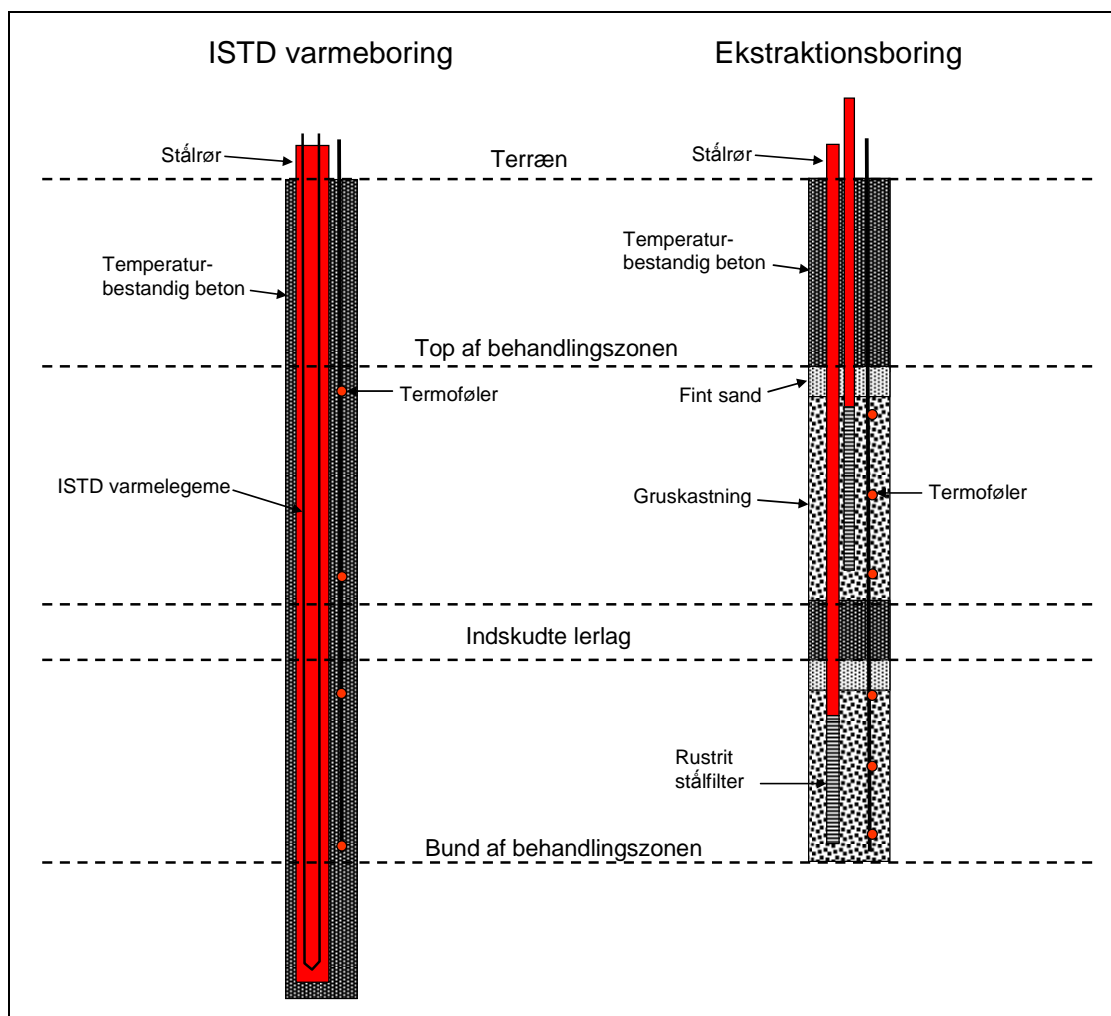
Figur 1.5. Skitseret layout af ISTD varmeboringer og ekstraktionsboringer



Hver ekstraktionsboring er omkranset af 6 varmeboringer, hvilket erfaringsmæssigt sikrer den bedste opvarmning, og samtidig minimeres antallet af injektions- og ekstraktionsboringer.

Boringerne udføres som udgangspunkt som skitseret i figur 1.6.

Figur 1.6. Skitse af ISTD varme- og ekstraktions-boringer



Der ekstraheres fra to filtre i hver ekstraktionsboring. Det nederste filter udstyres med pumper, mens det øverste filter ekstraherer vand og gasser ved slurping. Ved slurping suges en blanding af vand og luft fra boringen i et separat rør samtidig med, at der er vakuum på selve boringen. Herved opnås fjernelse af vand fra boringen uden installation af pumper.

Moniteringsboringerne er ikke vist i figur 1.6, men består af et filter i hvert lag til pejling og trykmåling samt termofølere placeret for hver meter fra top til bund. Termofølerne placeres med henblik på at kunne overvåge og regulere varmeudbredelsen. Udvalgte varme- og ekstraktionsboringer etableres med termofølere som vist på figuren.

Tabel 1.1 viser antallet af boringer.

Tabel 1.1. Antal boringer til ISTD opvarmning, ekstraktion, og monitering

	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag	Samlet antal
ISTD varmeboringer	816	816	816
Ekstraktionsboringer	272	272	272*
Moniteringsboringer	50	50	50

*Bemærk at to filtre installeres i hver boring.

ISTD varmeboringerne forventes placeret langs den etablerede spunsvæg. Herved opnås en varm afgrænsning af oprensningsområdet. Det er ikke med sikkerhed klarlagt, at der ikke stedvis kan forekomme en markant sedimentforurening umiddelbart på ydersiden af den etablerede spuns, og det kan således ikke udelukkes, at opvarmningen af spunsen kan medføre dannelse af uønskede gasser. Der er derfor en risiko for afdampning og lugtgener på ydersiden af den etablerede spuns, idet der på ydersiden af spunsen ikke er pneumatisk kontrol i den umættede zone.

Såfremt det viser sig nødvendigt (afklares ved et evt. pilotprojekt), kan der på ydersiden af spunsen etableres en række simple luftekstraktionsboringer i den umættede zone, således at der opnås pneumatisk kontrol med området umiddelbart langs med spunsen. Der forventes at skulle etableres i størrelsesordenen 65 simple vakuumboringer langs spunsen for at opnå den nødvendige pneumatiske kontrol. Ekstraheret luft fra disse boringer kan behandles med den i øvrigt ekstraherede luft i forbindelse med oprensningen.

Ved et evt. fuldskalaprojekt skal den nøjagtige boringsplacering samt placering og indretning af varmeboringer og ekstraktionsfiltre nærmere vurderes. Vurderingen foretages med udgangspunkt i resultater fra pilotprojektet, samt ved gennemførelse af teoretiske beregninger i modelleringsprogrammer. Herved sikres den oprensingsmæssige samt økonomisk bedste indretning og placering af boringerne. Endvidere efterprøves, hvorvidt det anvendte materialevalg er tilstrækkeligt under de aggressive forhold i høfdedepotet.

1.1.4 Oprensningsstrategi

Oprensningen vil foregå efter følgende principper:

1. Der etableres hydraulisk og pneumatisk kontrol ved start af pumpning og ekstraktion fra boringerne over og under det indskudte lerlag. Dette dokumenteres ved pejlinger og måling af vakuum i umættet zone.
2. Over en periode på 90 dage afvandes området inden for spunsen. Der pumpes fra ekstraktionsboringerne med en samlet ydelse på ca. 13 m³/time. Efter denne afvanding vurderes der at være ca. 30 % vandmætning over det indskudte lerlag og ca. 50 % vandmætning under det indskudte lerlag. Denne afvanding vil reducere varmekapaciteten af det opvarmede volumen betragteligt og lette den pneumatiske kontrol ved at skabe umættede forhold under det indskudte lerlag, hvor den dannede damp efterfølgende kan finde vej til ekstraktionsboringerne.
3. Mens der holdes hydraulisk og pneumatisk kontrol, opvarmes behandlingszonen ved hjælp af ISTD varmeboringerne. Der ekstraheres en væsentlig mængde vand som damp, hvilket er medvirkende til den hydrauliske kontrol. Der forventes at være en indsigning af koldt vand, som modsvares af oppumpning og ekstraktion af damp.
4. Laget over det indskudte lerlag har en lavere vandmætning og vil derfor varmes hurtigere end laget under det indskudte lerlag. Dette er favorabelt, idet den største mængde færdigvarer befinder sig over det indskudte lerlag. Det forventes, at der lokalt opnås temperaturer over 100 °C, hvilket fører til en mere komplet oprensning.
5. Der varmes, indtil der opnås ca. 100 °C både over og under det indskudte lerlag, hvilket dokumenteres ved temperaturen i den ekstraherede væske og luft og måling fra termofølere i de 50 monitoringsbo-

- ringer. Dette sker ikke nødvendigvis samtidigt i det nederste og øverste lag.
6. De præcise oprensningmålsætninger skal fastlægges nærmere som led i en eventuel detailprojektering. Som udgangspunkt kan det dog foreslås, at opvarmningen fortsættes indtil:
 - a. Der er opnået 100 °C i laget over det indskudte lerlag.
 - b. Der er opnået 90 °C eller højere temperatur under det indskudte lerlag.
 - c. Der er fjernet store mængder færdigvarer, og koncentrationen i den ekstraherede luft og vand er faldet til under 1 % af maksimum-værdien.
 - d. Prøvetagning af sediment viser, at den ønskede reduktion i koncentrationen er opnået.
 - e. Prøvetagning af vand viser, at nedbrydningsprodukter ikke er ophobet i uønsket høje koncentrationer.
 7. Efter ISTD opvarmningen afsluttes, pumpes og suges der fortsat, indtil den ønskede temperatur er opnået. Som et minimum skal al damp fjernes eller kondensere. I denne fase injiceres koldt vand, hvis det vurderes nødvendigt for afkølingen eller for at skylle vandopløselige nedbrydningsprodukter ud. Det forventes, at 180 dage er nødvendigt for at opnå den ønskede afkøling og gennemskylning.

1.2 Masse og energibalancer

Tabel 1.2 præsenterer det samlede oprensningvolumen samt varmekapacitet heraf med mellemregninger. I beregningerne er det indskudte lerlag antaget at være en del af det nedre lag.

Tabel 1.2 Opgørelse af volumen og varmekapacitet for fuldskala-oprensning med ISTD.

	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag*	Samlet	Enhed
Volumen, total	74.379	53.861	128.240	m ³
Porøsitet	0,39	0,39	0,39	
Sedimentvolumen	45.371	32.855	78.226	m ³
Vandmætning efter afvanding	30	50		procent
Vægt af sediment	109.865.000	87.066.000	196.931.000	kg
Vægt af vand	8.702.000	10.503.000	19.205.000	kg
Sedimentets varmekapacitet	109.865.000	87.066.000	196.931.000	kJ/°C
Vandets varmekapacitet	36.427.000	43.966.000	80.392.000	kJ/°C
Samlet varmekapacitet	146.292.000	131.032.000	277.323.000	kJ/°C

*Det indskudte lerlag er medtaget i beregningen for det nedre lag.

Der oprenses ca. 130.000 m³ forurenede sediment og vand. Porøsitet og vandmætning er estimeret ud fra målingerne i treatability forsøgene.

Vandbalancen for fuldskala-oprensningen med ISTD er vist i tabel 1.3.

Tabel 1.3 Vandbalance for fuldskala-oprensning med ISTD.

Vandbalance	Periode (dage)	Flow (m ³ /hr)	Volumen (m ³)
Porevolumen			50.013
Vandvolumen initialt			44.212
Lækage, estimeret ved maksimal afvanding		2,0	
Lækage under afvanding	90	1,0	2.160
Netto fjernelse af vand under afvanding	90	11,6	25.007
Pumpet under afvanding	90	12,6	27.167
Vandindhold før opvarmning			19.205
Lækage under opvarmning	438	2,0	21.014
Vand pumpet ud under opvarmning	438	1,0	10.507
Vand ekstraheret som damp under opvarmning	438	2,4	24.887
Vand fjernet under opvarmning	438	3,4	35.393
Netto vandfjernelse under opvarmning	438	1,4	14.380
Vandmængde inden for spuns efter opvarmning			4.825
Oppumpning under afkøling	180	4,0	17.280
Lækage under afkøling	180	1,0	4.320
Injektion under afkøling	180	10,0	43.200
Vandmængde efter afkøling	180		35.065
Vandmætning			
Gennemsnitlig vandmætning inden afvanding			88,4 %
Gennemsnitlig vandmætning inden opvarmning			38,4 %
Vandmætning efter opvarmning			9,6 %
Gennemsnitlig vandmætning efter afkøling			70,1 %
Vandbalance, samlet			
Samlet vandmængde pumpet ud			54.954
Samlet vandmængde fjernet som damp			24.887
Samlet lækage			27.494
Vandudskiftning			
Antal porevolumener vandudskiftning			1,60 pv

Det ses at, balancen mellem ekstraktion, lækage, og fjernelse af vand som damp, at der under oprensningen sker en netto fjernelse af vand i oprensningsperioden. Det skal dog bemærkes, at den estimerede lækage er skønnet, og der kan således forekomme afvigelser. Derfor vælges kapaciteten på ekstraktionsboringen og behandlingsanlægget med en sikkerhedsfaktor, der tillader afvigelser fra de beregnede rater.

Der ekstraheres i alt ca. 80.000 m³ vand, hvilket svarer til udskiftning af ca. 1.6 porevolumener grundvand. Hvis den aktuelle lækage er mindre end antaget, vil disse tal falde.

Oprensningens overordnede energibalance fremgår af tabel 1.4.

Tabel 1.4. Overordnet energibalancel for oprensningen.

Energiberegninger	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag	Samlet	Enhed
Energitilførsel, ISTD	2.960	2.140	5.100	kW
Ekstraktionsrate, varmt vand	6.7	4.9	12.6	m ³ /time
Vandtemperatur, varmt vand	93	82	88	°C
Energiflux ud, varmt vand	48	42	90	kW
Energiflux ud, damp	887	643	1,530	kW
Netto energiflux ind	2,022	1,457	3,480	kW
Opvarmningsrate	1.2	0.9	1.0	°C/dag
Starttemperatur	10	10	10	°C
Sluttemperatur	110	110	110	°C
Varmetab, samlet	37	37	37	%

Som det fremgår af tabellen, forventes den tilførte netto energiflux i opvarmningsperioden at være ca. 3.500 kW, hvilket medfører en gennemsnitlig opvarmningsrate på ca. 1,0 °C/dag.

Specifikationer på anlæggets væsentligste komponenter er angivet i tabel 1.5.

Tabel 1.5. Specifikationer på anlægskomponenter (maksimum kapaciteter).

Dampanlæg	Størrelse	Enhed
ISTD enhed	5.100	kW
Luftekstraktion	Størrelse	Enhed
Væskeudskiller	6.000	m ³ /time
Termisk oxidizer	6.000	m ³ /time
Quench/scrubber	6.000	m ³ /time
Vakuumpumper	6.000	m ³ /time
Aktivt kul, luft	6.000	m ³ /time
Vandekstraktion	Størrelse	Enhed
Pumpe fra udskiller	3	m ³ /time
Faseudskiller	19	m ³ /time
NAPL tank	10	m ³
Varmeveksler 1	1.800	kW
Varmeveksler 2	1.800	kW
Anlæg til basisk kogning	19	m ³ /time
Aktivt kul, vand	19	m ³ /time

1.3 Tidsforbrug og omkostninger

Afværgen består af de følgende trin:

1. Evt. etablering af ny spuns for forurenede områder uden for den eksisterende spuns.
2. Afgravning af øvre, rene sand og placering af en horisontal barriere over den øvre oprensningsdybde (membran).
3. Placering af det rene sand over membranen.

4. Installation af varmeboringer, ekstraktionsboringer, og monitoringsboringer.
5. Installation af infrastruktur til ISTD- og behandlingsanlæg (strøm, vand, udledning).
6. Installation af ISTD anlæg.
7. Installation af behandlingsanlæg.
8. Installation af boringsudstyknings, pumper, manifolder og monitoringsudstyr.
9. Termisk oprensning inklusiv dokumentationsundersøgelser og efterfølgende afkøling.
10. Afvikling af anlæg og infrastruktur.
11. Fjernelse af boringer.
12. Retablering af originalt sandlandskab.

1.3.1 Tidsforbrug

Tabel 1.6 viser den beregnede oprensningsperiode, som forenklet er som følger:

- 15 dage med etablering af hydraulisk og pneumatisk kontrol.
- Ca. 3 måneders afvanding.
- Ca. 14 måneder, hvor der behandles termisk.
- 6 måneders afkøling og gennemskylning med rent vand til flushing af nedbrydningsprodukter.

Tabel 1.6. Estimat af behandlingstid.

Forventet tidsforbrug	Samlet	Enhed
Etablering af hydraulisk og pneumatisk kontrol	15	dage
Afvanding	90	dage
Termisk behandling, ISTD	438	dage
Afkøling	180	dage
I alt	723	dage

Den samlede behandlingstid er ca. 720 dage, svarende til ca. 2 år. Bemærk, at anlægsperioden ikke er medregnet i denne periode.

1.3.2 Overslag over omkostninger ved fuldskala termisk oprensning

Størrelsesordenen for omkostningerne forbundet med gennemførelse af det beskrevne fuldskalaprojekt er estimeret i tabel 1.7. De angivne priser er baseret på et groft prisoverslag og er stærkt afhængigt af erfaringsopsamling fra et evt. pilotprojekt, idet kritiske elementer her vil blive lokaliseret. Alle priser er angivet i millioner kroner ekskl. moms.

Til brug for vurdering af entreprenøruddgifter forbundet med ISTD-oprensningen har Krüger foretaget en vurdering af de økonomiske konsekvenser forbundet med oprensningen. Denne vurdering har ligget til grund for prisoverslaget.

Overslaget er baseret på en antagelse om anvendelse af tykvægget stål til varmeboringerne. Hvis det viser sig i et evt. pilotprojekt, at dette materiale skal

udskiftes med mere bestandigt metal som Hastelloy, vil prisen stige betragteligt.

Tabel 1.7. Prisoverslag – gennemførelse af fuldskalaprojekt (ISTD).

Projektfase	Honorar inkl. interne udlæg [mio. kr]	Entreprenørudgifter [mio. kr]
Honorar		
Procesdesign	2,0	
Monitering	1,7	1
Projektstyring og afrapportering	0,5	
Entreprenørudgifter		
Klargøring af oprensningsområde (byggepladsindretning og etablering af membran)	-	6,5
Borearbejde inkl. etablering af boringer	0,4	32,5
ISTD-Heatere	-	32
Vakuum og køleanlæg	-	19,5
Rørføring, kabler SRO	-	11,5
Thermal oxidizer, scrupper, basisk kogning	-	20
Drift og service af anlæg	-	9
Smede og elentreprise	-	3
Demobilisering og diverse omkostninger	-	6
Elforbrug	-	41
I alt	4,6	182,0
	186,6	

Udgiften til gennemførelse af fuldskalaprojektet beløber sig til i størrelsesordenen 186 mio. kr. ekskl. moms.

Udgifter til procesdesign indeholder kunde- og myndighedskontakt samt detalprojektering af fuldskalaanlægget, herunder modelarbejde, udarbejdelse af arbejdsbeskrivelser, indhentning af tilladelser, korrespondance med entreprenører mv.

Monitering omfatter monitering af anlægget og relevante massestrømme i en oprensningsperiode på ca. 24 måneder. Analyseomkostninger er ikke nærmere prissat, idet analyseomfanget på nuværende tidspunkt er ukendt. Der er samlet set afsat i størrelsesordenen 1 mio. kr til udgifter i forbindelse med analysearbejde. I monitoringsprisen er endvidere indregnet daglig behandling af bl.a. temperaturdata og prøvedata fra oprensningen med henblik på at optimere projektets gennemførelse samt tilsyn med afværgeanlægget i afværgeperioden. Samtidig er indregnet borearbejde til dokumentation af forureningsniveauer både før, under og efter endt oprensning.

Projektstyring indeholder udgifter til den overordnede styring af fuldskalaoprensningen samt afrapportering og evaluering efter endt oprensning.

I rørføringer, kabler og SRO er indregnet kabler til og mellem heatere, analoge signalgivere og komplet el- og SRO system.

Klargøring af oprensningsområde omfatter afgravning af sand til kote +1, udlægning af vand- og lufttæt membran, indretning af byggeplads mv. Borearbejdet omfatter etablering af de beskrevne ISTD-, ekstraktions- og monitoringsboringer. Hertil kommer en udgift på 32 mio. kr til selve ISTD-varmelegemerne.

Drift og service af anlæg indeholder mandskabsudgifter for en oprensningsperiode på 2 år.

Der er indregnet 20 mio. kr. til termisk oxidizer, scrapper samt basisk kogning.

Forbruget af kul kan ikke nærmere vurderes, før resultatet fra et evt. pilotprojekt foreligger og er ikke indregnet i prisoverslaget.

Elforbruget er skønnet til ca. 45 mio. kr, ved brug af en elpris på ca. 70 øre pr. kWh. Der er ikke indregnet udgifter til evt. skiftning af anlægselementer under oprensningen. Behovet herfor bliver nærmere belyst i et evt. pilotprojekt.

Ovenstående skal betragtes som et groft prisoverslag. På baggrund af resultater og erfaringer fra pilotprojektet vil det være muligt at vurdere omfanget af tiltag mhp. at sikre arbejdsmiljø, sikre mod eksplosioner, materialevalg i forhold til korrosion osv. I ovenstående prisoverslag er ikke indregnet detaljerede foranstaltninger til sikring mod eksplosionsrisiko, idet omfanget af disse endnu ikke er afklaret.

1.4 Forventede oprensningseffektiviteter

Som diskuteret i hovedrapportens afsnit 3 og 4 forventes oprensningseffektiviteten overordnet at kunne forudsiges ud fra resultaterne af treatability forsøgene med visse justeringer baseret på praktiske betragtninger og erfaringer.

Effektiviteterne for ISTD løsningen er estimeret ud fra den antagelse, at der opnås en opvarmning til 100 °C i hele behandlingsvolumenet. Overordnet er det NIRAS og TerraTherms opfattelse, at fjernelseseffekterne opnået ved treatability forsøgene generelt er mindre end den oprensningseffektivitet, som kan forventes ved feltskalaoprensningen. Oprensningseffektiviteter, som forventes i felten (intervaller er angivet, hvor dette er muligt), er:

- *Ethyl-parathion*: Treatability forsøgene viser 91 % fjernelse. Det anses for muligt at opnå mellem 90 % og 99 % fjernelse i felten grundet den længere behandlingstid.
- *Methyl-parathion, malathion, og sulfotep*: Treatability forsøgene viser fuldstændig fjernelse. Det forventes, at lignende resultater kan opnås i felt-skala (95-99,9 % fjernelse afhængig af startkoncentrationer).
- *Para-nitrofenol (PNF)*: Treatability forsøgene viste dannelse ved temperaturer omkring 90 °C. Det forventes, at gennemskylning med damp (dannet ved kogning) og vand vil udvaske meget af den dannede PNF. Det er også muligt, at PNF nedbrydes ved behandling ved 100 °C og derved elimineres. Dette skal dog studeres nærmere i pilot-skala.
- *Polære stoffer (EP1, EP1-syre, EP2, EP2-syre, etc.)*: Disse stoffer vil helt sikkert dannes ved hydrolyse af færdigvarerne. Det er endnu uvist, i

hvilket omfang de vil blive nedbrudt ved temperaturen omkring 100 grader, eller om de skal fjernes med oppumpet vand/kondensat.

- *Kviksølv*: Lille effekt, uændret koncentration i sediment.

Denne løsning vurderes at have højere effektivitet end en tilsvarende termisk løsning ved dampinjektion, fordi:

1. Der opnås generelt en mere ensartet opvarmning ved termisk ledningsevne end ved damp.
2. Der kan opnås temperaturer på over kogepunktet i zoner, der tørrer ud, hvilket giver anledning til mere effektiv behandling end damp, hvor temperaturerne er begrænset af injektionstemperaturen.
3. ISTD løsningen kan opnå kogepunktstemperaturer over hele dybden, idet der afsættes varme i det indskudte lerlag og i de øverste 1.5 m af det lavpermeable lag under behandlingszonen.
4. Der koges grundvand i hele det opvarmede område, hvilket giver behandling i alle lag, uanset permeabilitet. Dette er en mere robust løsning end dampinjektion med trykcyklus.

I forbindelse med en ISTD løsningen er det vigtigt at bemærke, at en forlængelse af den termiske behandling vil føre til yderligere reduktion i forureningsmængden. Der vil være en glidende overgang i varmfordelingen i oprensningsevnen. Således vil de dele af oprensningsevnen, som er tættest på varmeboringerne, være væsentligt varmere end 100 °C, når de "koldeste" områder er 100 °C. Derfor forventes den skitserede ISTD metode at medføre oprensningseffektiviteter mellem de ca. 90 % som vist ved 100 °C treatabilityforsøgene og de ca. 100 % som vist ved 300 °C treatabilityforsøgene.

På trods af de vellykkede treatability forsøg bør oprensningseffektiviteterne studeres nærmere i pilot-skala. Det anbefales endvidere, at pilotforsøget anvendes til at bestemme oprensningseffektiviteten for ISTD-løsningen ved både 100 °C og højere temperaturer.

1.5 Kritiske elementer og usikkerheder

I det følgende diskuteres de væsentligste usikkerheder i forbindelse med den termiske ISTD behandling af høfdepotet ved Høfde 42.

1.5.1 Infrastruktur og tilførsel af vand, brændsel og strøm.

Fuldskalaoprensning kræver tilførsel af energi og vand som følger:

- a. Vand til behandlingsanlægget og til injektion under afkøling (ca. 10 m³/time).
- b. Strøm til ISTD- og afværge-anlægget (ca. 6 MW strømtilførsel).
- c. Brændsel til termisk oxidation af luft (naturgas eller propan).

Hvis dette ikke er praktisk muligt, kan det påvirke beslutningen om gennemførelsen af den termiske oprensning.

1.5.2 Behandling og afledning af spildevand

Under oprensningen oppumpes ca. 55.000 m³ grundvand, som skal behandles og efterfølgende udledes (bemærk, at dette er ca. 20 % af volumen ved dampløsningen jf. hovedrapportens Kapitel 5). Endvidere ekstraheres damp svarende til en vandmængde på i alt 25.000 m³. Det ubehandlede vand kan indeholde:

- Færdigvarer som fri fase.
- Opløste syrer og andre polære stoffer, som ikke let fjernes ved basisk kogning eller kulfiltrering, men evt. kræver biologisk behandling.
- Kviksølv.
- Andre organiske eller uorganiske nedbrydningsprodukter.

Det er vigtigt, at behandlingsmetoder for det oppumpede vand identificeres og om muligt afprøves under pilotprojektet. Det skal ligeledes overvejes, hvorvidt det oppumpede grundvand skal behandles biologisk inden udledning.

1.5.3 Behandling og udledning af luft

Under fuldskala oprensning udsættes hele oprensningsområdet for vakuum, og der ekstraheres ca. 6.000 m³ luft/gasser pr. time. Disse gasser består af:

- Atmosfærisk luft.
- Damp.
- Organiske gasser (pesticider og nedbrydningsprodukter).
- Uorganiske gasser dannet bl.a. ved hydrolyse.
- Kviksølv.

Det er vigtigt, at luftbehandlingsanlægget fjerner disse stoffer så udledningskriterierne overholdes. Det er også vigtigt, at behandlingsmetoder for den ekstraherede luft identificeres og om muligt afprøves under pilotprojektet.

1.5.4 Pneumatisk kontrol og lugtgener i feltskala

Den pneumatiske kontrol er tæt knyttet til spørgsmålet om lugtgener og emissioner fra fuldskala systemet. Det er vigtigt, at den pneumatiske kontrol monitoreres og dokumenteres:

- Kontrol og måling af vakuum på ekstraktionsboringerne.
- Trykmåling inden for og uden for spunsen i umættet zone (skal vise indadrettede trykgradienter).
- Måling af organiske og uorganiske parametre på luft over og omkring behandlingszonen inklusive placeringer i nedstrøms vindretning.

Et væsentligt spørgsmål er, om der skal ekstraheres luft uden for spunsen for at undgå lugtgener i forbindelse med, at evt. forurenede materiale uden for denne opvarmes og fordamper. Dette kan dokumenteres i pilotforsøget, hvor de nødvendige filtre installeres og anvendes til måling og evt. vakuume ekstraktion.

1.5.5 Hydraulisk kontrol i feltskala

Det er vigtigt, at det opvarmede vand (og evt. DNAPL) opsamles til behandling og ikke strømmer ud gennem spunsen. Dette sikres og dokumenteres således:

- Massebalancen for vand vedligeholdes, således at der under oprensningen altid sker en netto-fjernelse af vand. Ved oprensning med ISTD er dette simpelt, idet der ikke injiceres vand.
- Vandniveauet pejles inden og uden for spunsen under oprensningen.

1.5.6 Kan borerne holde til det korrosive miljø?

Dette testes direkte i pilotforsøget. Det forventes, at stålrør og rustfrie stålfiltere kan anvendes, såfremt der anvendes materialer med ekstra godstykkelse. I pilotforsøget installeres kuponer af alternative materialer inden for området, så korrosionens betydning kan belyses. Efter pilotforsøget inspiceres borerne og kuponer.

1.5.7 Risici for eksplosion

Det er endnu ikke med sikkerhed afklaret, hvorvidt opvarmning af fri organisk fase eller residual fri fase kan indebære en risiko for eksplosion. Det er specielt parathion og methylparathion, som vurderes at være problematiske i den forbindelse. Det anbefales således, at der inden igangsættelse af et termisk baseret pilotprojekt foretages yderligere studier inden for området. Cheminova A/S har i den forbindelse oplyst en række laboratorier i Europa, som evt. kan udføre kalorimeterforsøg med anvendelse af prøvemateriale fra hot-spot området.

2 Pilotforsøg med ISTD

I dette afsnit beskrives de anbefalede pilot-skalaaktiviteter forbundet med en ISTD afværgeløsning.

2.1 Pilotforsøg med ISTD - formål og afgrænsning

Hovedformålet med et ISTD pilotforsøg er at vise, om denne metode er praktisk anvendelig og effektiv ved Høfde 42. Delformål er beskrevet i tabel 2.1.

Tabel 2.1. Formål med ISTD pilotforsøg.

Formål	Metode	Diskussion
Vise at ISTD oprensning kan udføres sikkert og uden risiko	Monitering af projektet og dets sikkerhed, inkl. måling af gasser og eksplosionsrisiko	
Vise reduktion af koncentrationen af færdigvarer og andre organiske stoffer	Måling af jord- og vandprøver før, under og efter oprensningen ved forskellige temperaturer mellem 100 °C og 300 °C	Sammenligning af profiler før og efter. Sammenligning af masseestimer før og efter.
Vurdering af opnåelige temperaturer og optimal boringsafstand	Måling med termofølere i forskellig afstand fra varme- og ekstraktions-boringer.	
Vurdering af metode til DNAPL ekstraktion	Afprøvning af dykpumpe og slurping-metode i samme boring	Dykpumpers værdi og holdbarhed i miljøet, og mulighed for effektiv DNAPL-opsamling uden pumper vurderes
Vurdering af behov for ekstraktion uden for spunsen	Monitering af poreluft i filtre langs spunsen og evt. vakuumeextraktion fra disse	Lugtgener måles og afværges
Vise værdi af installation af vandret barriere	Monitering af temperaturer samt vurdering af barrierevirkningen over for damp og væsker	Modelberegninger med og uden barriere udføres
Vurdering af korrosion af boringer og rørføringer samt behandlingsanlæg	Inspektion efter pilotforsøget	Forskellige materialer afprøves som kuponer og i boringer
Vise behandlingsanlæggets funktion og rensningsgrad for luft og vand	Prøvetagning af luft- og vandstrømme	
Identificere kritiske elementer for fuld-skala design og pris	Holistisk vurdering af pilotforsøget	

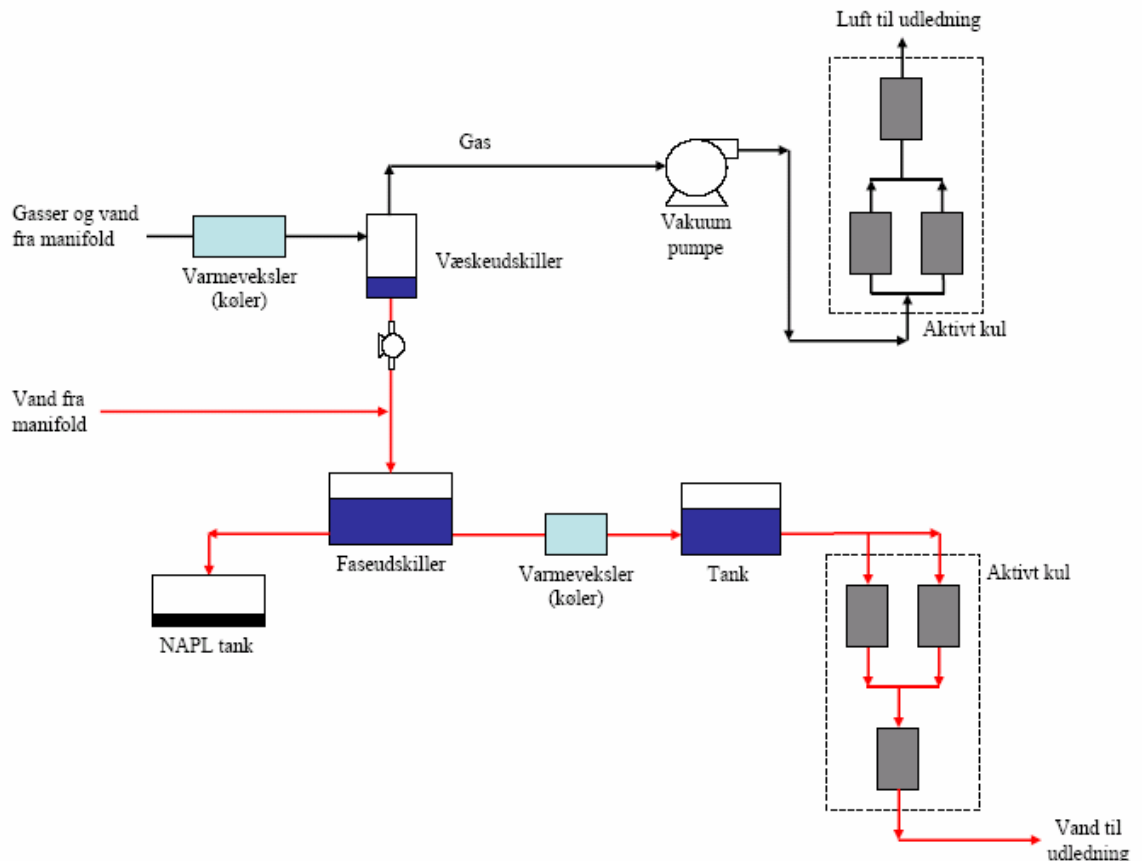
Det følgende afsnit beskriver det foreløbige design af pilotprojektet.

2.2 Pilotprojekt - valg af areal og dybde

Der fokuseres på et areal inden for den allerede etablerede spuns. Arealet forudsættes afgrænset med en ny cirkulær spuns, som således definerer afgrænsningen af området for pilotprojektet. En skitse af pilotforsøget fremgår af figur 2.1.

Anlægget til behandling af ekstraheret vand, DNAPL, og gasser (damp, luft, organiske stoffer samt uorganiske gasser) er skitseret i figur 2.2. Dette er en stærkt simplificeret udgave af anlægget til fuldskala behandling. Det begrænsede volumen for pilotprojektet gør, at afkøling/kondensation og kulfiltrering er den billigste og mest pålidelige løsning til luftbehandling. Det forventes, at målinger på de ekstraherede mængder af vand, gas og fri fase kan anvendes til det videre design for fuldskala systemet.

Figur 2.2. Skitse af pilotanlæg til behandling af ekstraheret væske og gas.



Anlægget består af komponenter, som hver for sig har vist sig effektive over for de aktuelle stoffer. Fra manifolden med gasser og ekstraherede væsker adskilles gas (luft) og væske. Luften behandles med aktivt kul til meget lave koncentrationer. Væsken ledes til en faseudskiller, hvor NAPL fraskilles. Vandet, som kan indeholde dråber af NAPL og høje opløste koncentrationer, behandles derefter ved filtrering med aktivt kul før udledning.

2.4 Boringsdetaljer

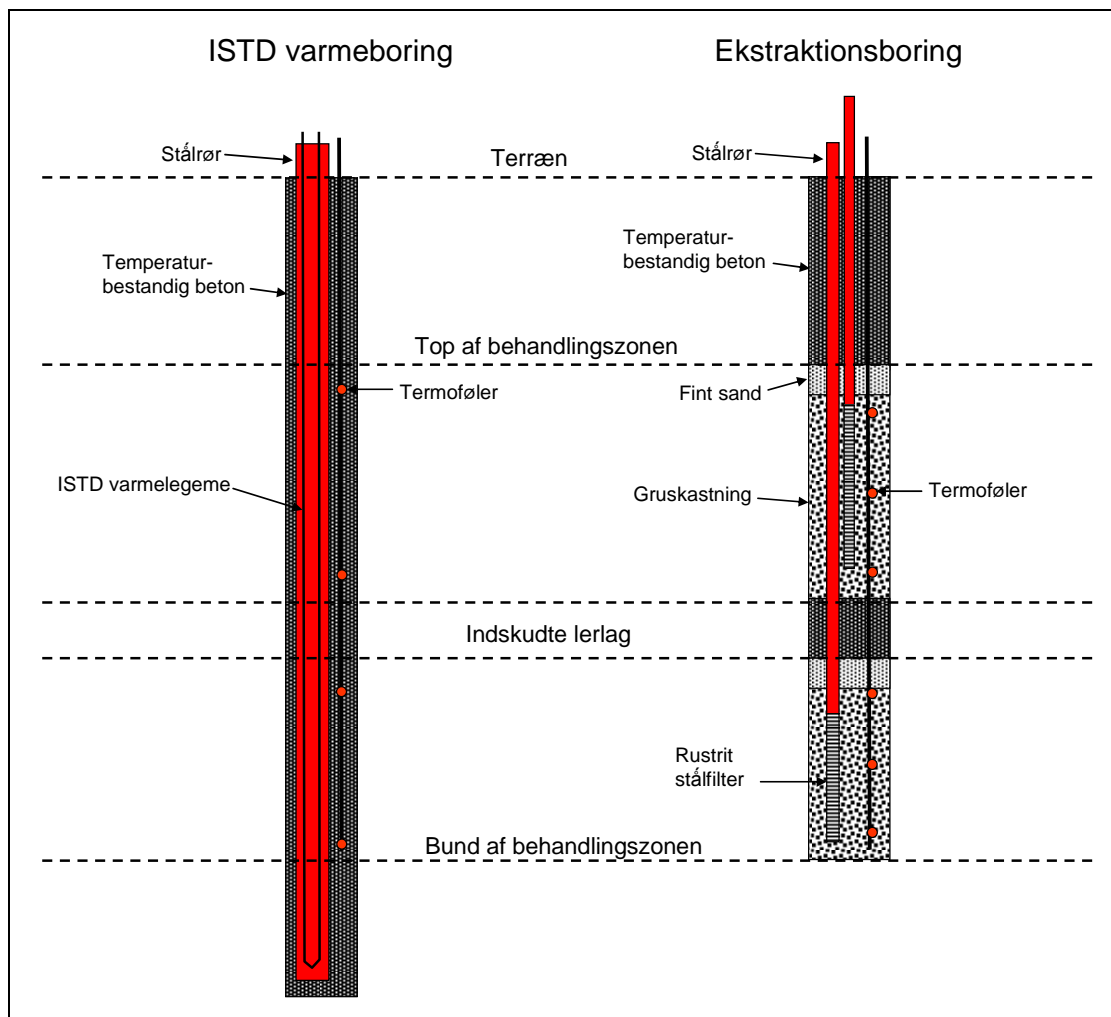
Boringerne udføres som skitseret i figur 2.3. Boringerne er identiske med de planlagte til fuld-skala ISTD-oprensning bortset fra, at de er instrumenteret med termofølere.

Der ekstraheres fra to filtre i den centrale ekstraktionsboring. Begge filtre udstyres med pumpe, mens det øverste filter også ekstraherer vand og gasser

ved slurping. Herved belyses behovet for og bestandigheden af dykpumper i det forventede aggressive miljø.

Moniteringsboringerne består af et filter i hvert lag til pejling og trykmåling samt termofølere placeret for hver meter fra top til bund. De tre vakuumboringer uden for spunsen er simple filtre i umættet zone. De kan anvendes til trykmåling, måling af poreluft og vakuumeekstraktion.

Figur 2.3. Skitse af varme- og ekstraktionsboringer til pilotprojekt med ISTD.



Antallet af borer er som følger:

- 6 ISTD-varmeboringer
- 1 ekstraktionsboring med 2 ekstraktionsfiltre
- 3 vakuumboringer i umættet zone uden for spunsen
- 3 monitoringsboringer

Endelige placeringer og antal vil blive besluttet ved detailprojektering af et evt. pilotprojekt.

2.5 Oprensingsstrategi

Oprensningen vil foregå efter følgende principper, meget lig strategien for fuldskala oprensning:

1. Der etableres hydraulisk og pneumatisk kontrol ved start af pumpning og ekstraktion fra boringen over og under det indskudte lerlag. Dette dokumenteres ved pejlinger og måling af vakuum i umættet zone.
2. Over en periode på 10 dage afvandes området inden for spunsen. Der pumpes fra ekstraktionsboringerne med en samlet ydelse på ca. 0.02 m³/time. Efter denne afvanding vurderes der at være ca. 30 % vandmætning over det indskudte lerlag og ca. 50 % under det indskudte lerlag.
3. Mens der holdes hydraulisk og pneumatisk kontrol, opvarmes behandlingszonen ved hjælp af ISTD varmeboringerne. Der ekstraheres en væsentlig mængde vand som damp, hvilket er medvirkende til den hydrauliske kontrol. Det forventes, at der er en indsvivning af koldt vand, som modsvares af oppumpning og ekstraktion af damp.
4. Der varmes, indtil der opnås ca. 100 °C både over og under det indskudte lerlag, hvilket dokumenteres ved temperaturen i den ekstraheerede væske og luft og måling fra termofølerne i de 3 monitoringsboringer. Ved denne temperatur behandles ved fortsat tilførsel af energi, mens der dampstrippes. Denne periode er estimeret til at vare ca. 19 dage.
5. Der udtages sedimentprøver til belysning af oprensningseffektiviteten efter opvarmning til kogepunktet og behandling svarende til ISTD behandling i fuldskala ved 100 °C.
6. Opvarmningen fortsættes til udtørring af størstedelen af pilotvolumenet, og der opvarmes til mellem 250 og 300 °C i løbet af ca. 30 dage.
7. Der udtages sedimentprøver til belysning af oprensningseffektiviteten efter opvarmning og behandling svarende til ISTD behandling i fuldskala ved 250-300 °C.
8. Efter ISTD opvarmningen afsluttes, pumpes og suges der fortsat, indtil den ønskede afkøling er opnået. Som et minimum skal der køles ned til under kogepunktet, og al damp er fjernet eller kondenseret. I denne fase injiceres koldt vand for at skylle vandopløselige nedbrydningsprodukter ud. Det forventes, at 20 dage er nødvendigt for at opnå den ønskede afkøling og gennemskylning.

Pilotforsøget forventes at vare ca. 3 måneder. En mere præcis oprensningstrategi og tidsplan fastsættes som led i en eventuel detailprojektering.

2.6 Masse og energibalancer

I tabel 2.2 vises det samlede pilotvolumen og varmekapacitet med mellemregninger. I denne beregning er det indskudte lerlag antaget at være en del af det nedre lag, idet det fortrinsvis vil blive varmet nedefra af opstigende damp.

Tabel 2.2 Opgørelse af volumen og varmekapacitet for pilotskala-oprensning.

	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag*	Samlet	Enhed
Volumen, total	11,1	8,0	19,2	m ³
Porøsitet	0,39	0,39	0,39	
Sedimentvolumen	6,8	4,9	11,7	m ³
Vandmætning efter afvanding	30	50	-	procent
Vægt af sediment	16.000	13.000	29.000	kg
Vægt af vand	1.300	1.600	2.900	kg

Sedimentets varmekapacitet	16.000	13.000	29.000	kJ/°C
Vandets varmekapacitet	5.400	6.700	12.100	kJ/°C
Samlet varmekapacitet	21.400	19.700	41.100	kJ/°C

Der oprenses ca. 19 m³ forurenede sediment og vand ved pilotforsøget. Porøsitet og vandmætning er estimeret ud fra målingerne i treatability forsøgene.

Vandbalancen for pilotforsøget er vist i tabel 2.3.

Tabel 2.3 Vandbalance for pilotforsøget.

Vandbalance	Periode (dage)	Flow (m ³ /time)	Volumen (m ³)
Porevolumen			7,5
Vandvolumen initialt			6,6
Lækage, estimeret ved maksimal afvanding		0,006	
Lækage under afvanding	10	0,003	0,7
Netto fjernelse af vand under afvanding	10	0,016	3,7
Pumpet under afvanding	10	0,019	4,5
Vandindhold før opvarmning			2,9
Lækage under opvarmning	49	0,006	7,1
Vand pumpet ud under opvarmning	49	0,002	1,8
Vand ekstraheret som damp under opvarmning	49	0,007	8,0
Vand fjernet under opvarmning	49	0,008	9,7
Netto vand fjernelse under opvarmning	49	0,002	2,7
Vandmængde inden for spuns efter opvarmning			0,2
Oppumpning under afkøling	20	0,010	4,8
Lækage under afkøling	20	0,003	1,4
Injektion under afkøling	20	0,020	9,6
Vandmængde efter afkøling	20		6,4
Vandmætning			
Gennemsnitlig vandmætning inden afvanding			88,4 %
Gennemsnitlig vandmætning inden opvarmning			38,4 %
Gennemsnitlig vandmætning efter opvarmning			2,6 %
Gennemsnitlig vandmætning efter afkøling			86,1 %
Vandbalance, samlet			
Samlet vandmængde pumpet ud			11,0
Samlet vandmængde fjernet som damp			8,0
Samlet lækage			9,2
Vandudskiftning			
Antal porevolumener vandudskiftning			2,54 pv

Det ses af balancen mellem ekstraktion, lækage og fjernelse af vand som damp, at der under pilotforsøget sker en netto fjernelse af vand, og at flowet er relativt lille for alle strømmene. Det skal dog bemærkes, at den estimerede lækage er skønnet, og der kan således forekomme afvigelser. Derfor vælges kapaciteten på ekstraktionsboringen og behandlingsanlægget med en sikkerhedsfaktor, der tillader afvigelser fra de beregnede rater.

Ved pilotforsøget ekstraheres i alt ca. 19 m³ vand, hvilket svarer til udskiftning af ca. 2,5 porevolumener grundvand. Hvis den aktuelle lækage er mindre end antaget, vil disse tal falde.

I tabel 2.4 er den beregnede energibalance for pilotprojektet samt et estimat på den forventede behandlingstid præsenteret.

Tabel 2.4. Energibalance og estimat af behandlingstid for pilotforsøget.

Energibalance	Over indskudte lerlag	Under indskudte lerlag	Samlet	Enhed
Energitilførsel, ISTD	22	16	38	kW
Ekstraktionsrate, vand under afvanding	0,009	0,007	0,016	m ³ /time
Gns. temperatur ekstraheret vand	93	82	88	°C
Energiflux ind	22	16	38	kW
Energiflux ud, varmt vand	0,1	0,1	0,2	kW
Energiflux ud, damp	7	5	11	kW
Netto energiflux ind	15	11	26	kW
Estimeret tidsforbrug				
Etablering af hydraulisk-pneumatisk kontrol	5			dage
Afvanding	10			dage
Opvarmning til 100 oC	19			dage
Opvarmning til 250-300 oC	30			dage
Afkøling og gennemskylning	20			dage
I alt	84			dage

Den estimerede behandlingstid er ca. 84 dage (3 måneder). Den forløber som følger:

- 5 dage med etablering af hydraulisk og pneumatisk kontrol.
- 10 dage med afvanding.
- 19 dage med opvarmning til 100 °C og behandling ved damp-temperatur.
- 30 dages opvarmning 250-300 °C og behandling ved denne temperatur.
- 15 dages afkøling og gennemskylning med rent vand til flushing af nedbrydningsprodukter.

Projektets varighed er fleksibelt og afhænger af monitoringsresultaterne.

2.7 Anlægsstørrelse

Specifikationer på anlæggets væsentligste komponenter er angivet i tabel 2.5.

Tabel 2.5. Specifikationer på anlægskomponenter for pilotforsøg (maksimum kapaciteter).

Dampanlæg		
ISTD anlæg	50	kW
Luftekstraktion		
Væskeudskiller	185	m ³ /hr
Vakuumpumper	185	m ³ /hr
Aktivt kul, luft	185	m ³ /hr
Vandekstraktion		
Pumpe fra udskiller	0,02	m ³ /hr
Faseudskiller	0,06	m ³ /hr
NAPL tank	1	m ³
Varmeveksler (kondenser)	5	kW
Varmeveksler (vandkøler)	5	kW
Aktivt kul, vand	0,06	m ³ /hr

2.8 Monitering og prøvetagning

Tabel 2.6 indeholder et foreløbigt forslag til prøvetagning og monitering i forbindelse med pilotprojektet.

Tabel 2.6. Forslag til monitoring og prøvetagning – pilotprojekt.

Parameter	Metode	Diskussion/forklaring
Sedimentkoncentrationer i pilotområde før behandling	Kerner udtages ved installation og analyseres for organiske stoffer og Hg	Sammenlignes med prøver udtaget efter behandling
Grundvandskoncentrationer i pilotområde før behandling	Analyseres for organiske stoffer og Hg	Sammenlignes med prøver udtaget efter behandling
DNAPL forekomst før behandling	Pejling i installerede filtre	Sammenlignes med prøver udtaget efter behandling
Grundvandsstand under forsøget	Pejling og dybde på slurpingstudser	Hydraulisk kontrol evalueres
Porelufttryk under forsøget	Trykmålinger	Trykgradienter udledes – vakuum og pneumatisk kontrol evalueres
Temperatur i behandlingszonen	Temperatursensorer måles manuelt	Dokumentation af opnået behandlingstemperatur af dampudbredelse
Temperatur i varme- og ekstraktionsboringer	Temperatursensorer måles manuelt	Belyser ISTD opvarmningen og boringernes effektivitet
Vandbalance	Flowmetre og pejling inden for spunsen	Indsivning og porevolumenudskiftning anvendes til kalibrering af numerisk model og opskalering til fuldskala
Energibalance	Flow, tryk, og temperaturmålinger på damp- og behandlingsanlæg	Data anvendes til kalibrering af numerisk model og opskalering til fuldskala
Luftprøver i behandlingsanlæg	Luftprøver til analyse af organiske og uorganiske parametre	Dokumentation af behandlingsgrad og data til design af fuldskealanlæg
Vandprøver i behandlingsanlæg	Vandprøver til analyse af organiske og uorganiske parametre	Dokumentation af behandlingsgrad og data til design af fuldskealanlæg
Miljø-relaterede målinger	Luftkvalitet, lugt, flora, fauna	Belyser den termiske metodes indvirkning på det omgivende miljø
Korrosionsparametre	Inspektion af boringer og kuponer	Til valg af optimale materialer for fuldskealabehandling
Eksplodingsrisiko	Måling af eksplosionsrisiko på ekstraheret luft	Til vurdering af eksplosionsrisikoen i/ved afværgeanlægget under oprensningen
Sedimentkoncentrationer i pilotområde efter behandling ved 100°C og 250-300°C	Kerner udtages ved installation og analyseres for organiske stoffer og kviksølv	Sammenlignes med koncentrationer før behandling
Grundvandskoncentrationer i pilotområde efter behandling	Analyseres for organiske stoffer og kviksølv	Sammenlignes med koncentrationer før behandling
DNAPL forekomst efter behandling	Pejling i installerede filtre	Sammenlignes med koncentrationer før behandling

Det forventes, at monitoringsprogrammet er fleksibelt, så metoder og frekvenser justeres ud fra observationerne. Det endelige monitoringsprogram fastlægges i forbindelse med en eventuel detailprojektering.

2.9 Overslag over omkostninger ved pilotprojekt

Størrelsesordenen for omkostningerne forbundet med gennemførelse af det beskrevne pilotforsøg er estimeret i tabel 2.7. De angivne priser er baseret på et indledende prisoverslag og afhænger af det nøjagtige omfang af pilotprojektet. Alle priser er angivet i tusinde kroner ekskl. moms.

Tabel 2.7. Prisoverslag – gennemførelse af pilotprojekt.

Projektfase	Honorar inkl. interne udlæg [1.000 kr]	Entreprenørudgifter [1.000 kr]
Procesdesign	300	-
Tilsyn anlægsfase og slutdokumentation	37	-
Monitering samt anlægsop-timering i driftsperiode	278	50
Projektstyring, mødedeltagelse og afrapportering	144	-
Entreprenørudgifter, ISTD- og behandlingsanlæg, inkl. eksplosions- og korrosionsundersøgelser	-	2.221
I alt	759	2.271
	3.030	

Udgiften til gennemførelse af pilotprojektet beløber sig til i størrelsesordenen 3,0 mio. kr. ekskl. moms, afhængigt af den nøjagtige udførelse af pilotprojektet, forureningsindhold i pilotområdet, omfang af monitoringsprogrammer samt korrosions- og eksplosionstest mv.

Udgifter til procesdesign indeholder kunde- og myndighedskontakt samt detaljprojektering af pilotanlægget, herunder modelarbejde for pilotanlægget. I tilsynsprisen er indregnet udgifter til tilsyn ved etablering af borer, afværgeanlæg samt spuns.

Monitering omfatter monitering af anlægget og relevante massestrømme ca. 3 gange ugentligt i en oprensingsperiode på ca. 3 måneder.

I monitoringsprisen er indregnet daglig behandling af bl.a. temperaturdata og prøvedata fra oprensningen med henblik på at optimere pilotprojektets gennemførelse. Samtidig er indregnet borearbejde til dokumentation af forureningsniveauer både forud for pilotprojektets gennemførelse, efter behandling ved 100 °C og efter endt oprensning, dvs. behandling ved 200-300 °C.

Entreprenørudgiften er baseret på overslagspriser fra Krüger og fra Arkil Miljøteknik.

I entreprenørudgiften er indregnet etablering af cirkulær spuns omkring pilotområdet (230.000 kr) samt mekanisk detaildesign, materialeforbrug, fragt af anlæg, opstilling og indkøring.

Lejeudgiften på afværgeanlægget indeholder ISTD-anlæg, kabler, monitoringsudstyr, overjordisk manifold, SVE anlæg, kølere, væskeudskillere samt vandbehandlingsanlæg med tilhørende service og mekanisk tilsyn/eftersyn. Der er medregnet leje af anlæg i 3 måneder.

Endvidere er indregnet forbrug og bortskaffelse af aktivt kul, svarende til 2.500 tons kul til luft og 500 kg kul til vand.

I pilotprojektet forudsættes gængse rørmaterialer anvendt. Der er dog i ovenstående prisoverslag regnet med en sværere godstykkelse end normalt.

I prisoverslaget er indregnet en elpris på 0,70 kr/kWh ekskl. moms og forudsætter afgiftsfritagelse hos myndighederne.

Der er i overslaget indregnet i alt 200.000 kr. til nærmere undersøgelse af eksplosions- og korrosionsrisiko.

Den endelige pris på anlægget afhænger endvidere af, i hvilket omfang de enkelte anlægselementer bliver ødelagt af det korrosive miljø i høfde depotet. Således har Krüger oplyst, at der kan påregnes en ekstraudgift på ca. 150.000 kr. til reparation eller udskiftning af køleflader, pumper mv. Denne udgift er ikke indregnet i prisoverslaget.

Der er ikke indregnet udgifter til fremføring af el til afværgeanlægget, etablering af vapourcap og indhegning af pilotområde. Analyseomkostninger er ikke prissat, idet analyseomfanget på nuværende tidspunkt er ukendt.

2.10 Yderligere anbefalinger

I forbindelse med projektets Fase 2 skal det overvejes, om følgende aktiviteter skal udføres:

- Supplerende laboratorieforsøg til belysning af mekanismer og betydning af gennemskylning med vand (antal porevolumener).
- Detaljeret korrosionsstudium for metaller og andre materialer til anvendelse i borer, rørføringer og behandlingsanlæg.
- Laboratorieforsøg til belysning af basisk kogning som forbehandling af vand.
- Laboratorieforsøg til vurdering af bedste metoder til behandling af polære stoffer i vand.
- Analyse af muligheden for at integrere behandling af vand og/eller luft med Cheminovas eksisterende anlæg.

Disse aktiviteter vil, sammen med pilotprojektet, kunne give et forbedret designgrundlag for fuldskalaoprensningen.

Søgeresultater fra litteraturstudie

- Abbas, B. 1995, "Input of DDT into the environment by forest pest control in 1983/84 in Brandenburg--assessment of the contamination level", *Zentralblatt fur Hygiene und Umweltmedizin = International journal of hygiene and environmental medicine*, vol. 197, no. 5, pp. 452-457.
- Abbas, B. 1995, "DDT input into the environment by forest pest control in Brandenburg (Germany) in 1983/84 - assessment of the contamination level.", *Zentralblatt fuer Hygiene und Umweltmedizin*, vol. 197, no. 5, pp. 452-457.
- Abe, T. 2005, *Method and apparatus for treating agricultural chemical and polluted soil.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: B09B003-00.; Secondary IPC: A62D003-00; B09C001-02; B09C001-06; B09C001-08., Patent Application Country: Application: JP; Patent Country: JP.
- Abe, T., Mizuno, H. & Noguchi, K. 2001, "A new remediation technique for soils contaminated with dioxins employing vacuum pyrolysis.", *Organohalogen Compounds*, vol. 54, no. Dioxin 2001, pp. 157-159.
- Acharya, P., Fogo, D. & McBride, C. 1996, "Process challenges in rotary kiln-based incinerators in soil remediation projects.", *Environmental Progress*, vol. 15, no. 4, pp. 267-276.
- Acharya, P. & Hay, G.H. 2000, "Thermal desorption - the technology of choice for most soil remediation in 2000 and beyond.", *Proceedings of the International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Portland, OR, United States, May 8-12, 2000*, pp. 588-595.
- Acharya, P. & Ives, P. 1994, "Incineration at Bayou Bonfouca remediation project.", *Air & Waste*, vol. 44, no. 10, pp. 1195-1203.
- Adams, T.V. & Smith, G.J. 1998, "DNAPL/LNAPL remediation in clay till using steam-enhanced extraction.", *Physical, Chemical, and Thermal Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 1st, Monterey, Calif., May 18-21, 1998*, , pp. 103-108.
- Adhya, T.K., Sudhakar-Barik & Sethunathan, N. 1981, "Hydrolysis of selected organophosphorus insecticides by two bacteria isolated from flooded soil.", *Journal of Applied Bacteriology*, vol. 50, no. 1, pp. 167-172.
- Adhya, T.K., Wahid, P.A. & Sethunathan, N. 1987, "Persistence and biodegradation of selected organophosphorus insecticides in flooded versus non-flooded soils.", *Biology and Fertility of Soils*, vol. 5, no. 1, pp. 36-40.
- Adhya, T.K., Sudhakar-Barik & Sethunathan, N. 1981, "Stability of commercial formulation of fenitrothion, methyl parathion, and parathion in anaerobic soils.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 29, no. 1, pp. 90-93.
- Aebarya, P. & Biolchini, R. 2001, "Subcontracting thermal projects a new approach in the remediation industry.", *Proceeding of the International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Philadelphia, PA, United States, May 14-18, 2001*, , pp. 212-216.
- Agdi, K., Bouaid, A., Esteban, A.M., Hernando, P.F., Azmani, A. & Camara, C. 2000, "Removal of atrazine and four organophosphorus pesticides from

environmental waters by diatomaceous earth-remediation method.", *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 2, no. 5, pp. 420-423.

Agrawal, A. & Tratnyek, P.G. 1996, "Reduction of Nitro Aromatic Compounds by Zero-Valent Iron Metal.", *Environmental Science and Technology*, vol. 30, no. 1, pp. 153-160.

Ahuja, R. & Kumar, A. 2003, "Metabolism of DDT [1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane] by *Alcaligenes denitrificans* ITRC-4 under aerobic and anaerobic conditions.", *Current microbiology*, vol. 46, no. 1, pp. 65-69.

Aislabie, J.M., Richards, N.K. & Boul, H.L. 1997, "Microbial degradation of DDT and its residues - a review.", *New Zealand Journal of Agricultural Research*, vol. 40, no. 2, pp. 269-282.

Albanis, T.A., Pomonis, P.J. & Sdoukos, A.T. 1988, "The influence of fly ash on hydrolysis, degradation and adsorption of methyl parathion in aqueous soil suspensions.", *Toxicological and Environmental Chemistry*, vol. 17, no. 4, pp. 351-362.

Allan, R.J. 1994, "Transport and fate of persistent toxic organic chemicals in aquatic ecosystems: the Niagara River to St Lawrence River Estuary example.", *IAHS Publication*, vol. 219, no. Hydrological, Chemical and Biological Processes of Transformation and Transport of Contaminants in Aquatic Environments, pp. 21-32.

Alvarez, P.J., Till, B.A., Weathers, L.L., Parkin, G.F. & Schnoor, J.L. 1998, *Zerovalent iron-based bioremediation of aquifers contaminated with mixed wastes*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C02F003-28.; Secondary IPC: C02F003-10; B09B003-00; C02F003-34; C02F003-30., PCT Designated States: Designated States W: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, GW, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, P(TRUNCATED).

An, F., Mo, H., Zheng, M. & Zhang, B. 2002, "A phytoremediation technique of DDT-contaminated soil.", *Huanjing Wuran Zhili Jishu Yu Shebei*, vol. 3, no. 7, pp. 39-44.

An, F., Mo, H., Zheng, M. & Zhang, B. 2003, "Environmental chemical aspects of phytoremediation of pesticides-contaminated soil.", *Huanjing Huaxue*, vol. 22, no. 5, pp. 420-426.

An, F., Mo, H., Zheng, M. & Zhang, B. 2003, "Phyto-remediation of DDT and its main degradation product-contaminated soil using grass.", *Huanjing Huaxue*, vol. 22, no. 1, pp. 19-25.

Anderson, B.S., Hunt, J.W., Phillips, B.M., Stoelting, M., Becker, J., Fairey, R., Puckett, H.M., Stephenson, M., Tjeerdema, R.S. & Martin, M. 2000, "Ecotoxicologic change at a remediated Superfund site in San Francisco, California, USA.", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 19, no. 4, pp. 879-887.

Andreozzi, R., Ialongo, G., Sanchirico, R. & Marotta, R. 1999, "Thermal decomposition of ethyl parathion", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 12, no. 4, pp. 315-319.

- Andrus, V.E., Nanny, M.A. & Philp, R.P. 2003, "Humate-enhanced remediation of crude-oil-contaminated surface soils: Adsorption studies and microcosm results.", , pp. ENVR.
- Anjaneyulu, Y. & Rekha, T.M. 2000, "Studies on the dynamics of certain persistent hazardous organics (halo and nitro aromatics) on various types of soils and their in-situ biodegradation.", *Research Journal of Chemistry and Environment*, vol. 4, no. 3, pp. 45-61.
- Arcand, Y., Hawari, J. & Guiot, S.R. 1995, "Solubility of pentachlorophenol in aqueous solutions: the pH effect.", *Water research*, vol. 29, no. 1, pp. 131-136.
- Artale, M.A., Augugliaro, V., Di Paola, A., Garcia-Lopez, E., Loddo, V., Marci, G., Palmisano, L. & Schiavello, M. 2001, "Heterogeneous photocatalysis for environment remediation: case studies in gas-solid and liquid-solid regimes.", *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 10, no. 3, pp. 310-313.
- Askew, B., Adams, J., Booker, S., Chen, G., Dipietro, L.V., Elbaum, D., Germain, J., Geuns-Meyer, S.D., Habgood, G.J., Handley, M., Huang, Q., Kim, T., Li, A., Nishimura, N., Nomak, R., Patel, V.F., Riahi, B., Kim, J.L., Xi, N., Yang, K. & Yuan, C.C. 2003, *Preparation of 2-aminopyridine-3-carboxamides as remedies for angiogenesis mediated diseases.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: A61K031-506.; Secondary IPC: A61K031-4745; A61K031-444; A61K031-4439; C07D471-02; C07D403-02; C07D405-02; C07D413-02., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US; Priority Application Country: US.
- AUGUSTIN, H., BAUER, U., BESSEMS, E., BESTMANN, G., BOTZENHART, K., DIETZ, F., GENTH, H., GERIKE, P., JUNG, K.D., KETTRUP, A., ROBRA, K.H. & ZULLEI, N. 1982, "Microbiocidal Compounds as Environmental-Pollutants in Water - Preliminary-Study of the Working Group Fa-Iii/6 of the Fachgruppe-Wasserchemie in the Gesellschaft-Deutscher-Chemiker", *Vom Wasser*, vol. 58, pp. 296-340.
- Avudainayagam, S., Megharaj, M., Owens, G., Kookana, R.S., Chittleborough, D. & Naidu, R. 2003, "Chemistry of chromium in soils with emphasis on tannery waste sites", *Reviews of environmental contamination and toxicology*, vol. 178, pp. 53-91.
- Ayen, R.J. & Swanstrom, C. 1991, "Development of a transportable thermal separation process.", *Environmental Progress*, vol. 10, no. 3, pp. 175-181.
- Babkina, E.I. & Trublaevich, Z.N. 1985, "Effect of time and conditions of storing soil samples on detection in them of pesticides.", *Trudy Instituta Eksperimental'noi Meteorologii, Seriya Zagryaznenie Prirodnikh Sred*, vol. 13, pp. 35-41.
- Bach, G., Glaubauf, T., Schneider, J., Jentsch, T. & Hofmann, J. 2001, "Transport processes in electrochemical soil remediation. Part 3: studies on electrochemical decomposition of halogenated hydrocarbons.", *TerraTech*, vol. 10, no. 4, pp. 47-50.
- Backman, A., Maraha, N. & Jansson, J.K. 2004, "Impact of temperature on the physiological status of a potential bioremediation inoculant, *Arthrobacter*

chlorophenolicus A6.", *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 70, no. 5, pp. 2952-2958.

Bae, H.S., Lee, J.M., Kim, Y.B. & Lee, S. 1997, "Biodegradation of the mixtures of 4-chlorophenol and phenol by *Comamonas testosteroni* CPW301.", *Biodegradation*, vol. 7, no. 6, pp. 463-469.

Bagabas, A. & Apblett, A.W. 2004, "Arsenic remediation from aqueous medium using nanoparticulate transition metal oxides.", *Preprints of Extended Abstracts presented at the ACS National Meeting, American Chemical Society, Division of Environmental Chemistry*, vol. 44, no. 2, pp. 137-143.

Baggi, G., Cavalca, L., Francia, P. & Zangrossi, M. 2004, "Chlorophenol Removal from Soil Suspensions: Effects of a Specialised Microbial Inoculum and a Degradable Analogue.", *Biodegradation*, vol. 15, no. 3, pp. 153-160.

Baker, R.S. & Heron, G. 2004, "In situ delivery of heat by thermal conduction and steam injection for improved DNAPL remediation.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, pp. 2B.18/1-2B.18/8.

Baker, R.S. & LaChance, J.C. 2003, "Performance relative to dioxins of the in-situ thermal destruction (ISTD) soil remediation technology.", *Organohalogen Compounds*, vol. 63, pp. 212-215.

Baker, R.S., Vinegar, H.J. & Stegemeier, G.L. 1999, "Use of in situ thermal conduction heating to enhance soil vapor extraction.", *Contaminated Soils*, vol. 4, pp. 39-57.

Balba, M.T., Al-Daher, R., Al-Awadhi, N., Yateem, A. & Al-Surrayai, T. 2005, "Large-scale evaluation of physical, chemical, and biological technologies for the remediation of oil lake beds in Kuwait.", *Remediation of Contaminated Sediments: Finding Achievable Risk Reduction Solutions, Proceedings of the International Conference on Remediation of Contaminated Sediments, 3rd, New Orleans, LA, United States, Jan.24-27, 2005*, , pp. C6.12/1-C6.12/7.

Baldwin, D.S., Beattie, J.K., Coleman, L.M. & Jones, D.R. 2001, "Hydrolysis of an Organophosphate Ester by Manganese Dioxide.", *Environmental Science and Technology*, vol. 35, no. 4, pp. 713-716.

Bales, F., Leibbert, J.M., Camacho, J.M. & Gilbert, J.M. 2003, "Establishing performance & emission specifications for a thermal desorption system.", *Proceedings of the Annual International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, 22nd, Orlando, FL, United States, May 12-16, 2003*, , pp. 276-280.

Balfanz, J. 1992, "Degradation of phenol and chlorinated phenols by an immobilized mixed culture in model soil.", *Biologische Abwasserreinigung*, vol. 1, no. BIOLOGISCHER ABBAU VON CHLORKOHLLENWASSERSTOFFEN, pp. 119-131.

Balfanz, J. & Rehm, H.J. 1992, "Degradation of phenol and chlorophenols by immobilized mixed culture in model soil.", *Mikrobiol.Reinig.Boeden, Beitr.Dechema-Fachgesprachs Umweltschutz, 9th*, , pp. 223-228.

- Bang, S. 1997, "Molecular analysis of p-nitrophenol degradation by *Pseudomonas* sp. strain ENV2030 (bioremediation, pepC, benzenetriol dioxygenase).", , pp. 159.
- Barles, R.W., Daughton, C.G. & Hsieh, D.P.H. 1979, "Accelerated parathion degradation in soil inoculated with acclimated bacteria under field conditions.", *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 8, no. 6, pp. 647-660.
- Bashir, S. & Ahmed, S. 2004, "Aerobic degradation of monochlorophenols by *Pseudomonas aeruginosa* SS-1.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 2D.05/1-2D.05/7.
- BASTIDE, J., COSTE, C.M. & MEALLIER, P. 1980, "Chemical Hydrolysis and Pesticidal Activity", *Bulletin De La Societe Chimique De France Partie Ii-Chimie Moleculaire Organique Et Biologique*, , no. 7-8, pp. 405-415.
- Becker, D.J., Smith, G. & Cummings, J. 2004, "Introducing USACE's in situ thermal remediation manual.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 2B.10/1-2B.10/7.
- Benimeli, C.S., Amoroso, M.J., Chaile, A.P. & Castro, G.R. 2003, "Isolation of four aquatic streptomycetes strains capable of growth on organochlorine pesticides.", *Bioresource technology*, vol. 89, no. 2, pp. 133-138.
- Benker, E.B., Meyers-Schone, L. & Nagy, M. 2000, "Ecological risk-based cleanup goals for the protection of terrestrial receptors.", *Contaminated Site Remediation: From Source Zones to Ecosystems, Proceedings of the Contaminated Site Remediation Conference: From Source Zones to Ecosystems, 2nd, Melbourne, Australia, Dec.4-8, 2000*, vol. 1, pp. 109-116.
- Berkey, E., Paff, S.W. & King, A.B. 1997, "Sulchem process for treatment of chemical weapons-related wastes.", *NATO ASI Series, Series 1: Disarmament Technologies*, vol. 12, no. Mobile Alternative Demilitarization Technologies, pp. 129-148.
- Bernier, R.L., Gray, N.C.C. & Gray, A.L. 1997, *Anaerobic/aerobic decontamination of DDT contaminated soil by repeated anaerobic/aerobic treatments.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: B09C001-10.; Secondary IPC: A62D003-00., PCT Designated States: Designated States W: AU, BR, CA, CN, CZ, HU, JP, KP, MX, NZ, RU, SK.; PCT Reg. Des. States: Designated States RW: AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE.; Patent Application Country: Application(TRUNCATED).
- Bernier, R.L., Gray, N.C.C. & Moser, L.E. 1997, *Compost decontamination of DDT contaminated soil.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: B09C001-10.; Secondary IPC: A62D003-00., PCT Designated States: Designated States W: AU, BR, CA, CN, CZ, HU, JP, KP, MX, NZ, RU, SK.; PCT Reg. Des. States: Designated States RW: AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE.; Patent Application Country: Application(TRUNCATED).

- Berry, R.W. 1979, "Alternative insecticides for remedial treatment wood preservative formulations.", *International Pest Control*, vol. 21, no. 5, pp. 117-21, 125.
- Besemer, A.F.H., Gerrits, C. & Ormel, H.A. 1948, "New remedies for the control of the Colorado potato beetle.", *Maandbl.Landbouwwoorlichtingsdienst*, vol. 5, pp. 97-104.
- Betz, C., Farber, A. & Schmidt, R. 1997, "Thermal in situ soil remediation by steam injection.", *Moeglichkeiten und Grenzen der Reinigung Kontaminierter Grundwaesser, Resueme und Beitrage des DECHEMA-Fachgesprachs Umweltschutz, 12th, Leipzig, Oct.8-10, 1996*, , pp. 859-874.
- Beyke, G., Reifenberger, T. & Maki, E. 2000, "Enhanced removal of separate phase viscous fuel by Six-Phase Heating.", *Physical and Thermal Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 2nd, Monterey, CA, United States, May 22-25, 2000*, pp. 191-196.
- Bhamidimarri, S.M.R. & Petrie, R.A. 1992, "Adsorption and biodegradation of herbicide chemicals in silt loam soil.", *Proceedings of the Industrial Waste Conference*, vol. 46th, pp. 591-595.
- Bierschenk, J.M., Baker, R.S., Bukowski, R.J., Parker, K., Young, R., King, J., Landler, T. & Sheppard, D. 2004, "Full-scale phase 1a results of ISTD remediation at former Alhambra, California wood treatment site.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 4A.09/1-4A.09/9.
- Birke, V. 2001, "Reviewing the ex situ dehalogenation technique APEG PLUS: degradation products and mechanisms of polychlorinated benzenes and biphenyls (PCBs).", *Altlasten Spektrum*, vol. 10, no. 6, pp. 316-329.
- Birke, V., Runne, D., Mattik, J., Berger, A., Schuett, C., Aresta, M. & Dibenedetto, A. 2004, "Emerging innovative and versatile mechanochemical techniques for remediation of hazardous wastes and contaminated sites.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 4A.11/1-4A.11/10.
- Black, B.G. & Kuipers, B. 2001, *Decontamination plant and procedures.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: B09C001-08.; Secondary IPC: B09C001-10; B09C001-02; B09B003-00., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, L(TRUNCATED).
- Blonk, D.J. 1993, *Method and device for removing one or more contaminants from a bulk material.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: B09B003-00.; Secondary IPC: B01J003-00; C22B043-00; C02F011-00; F27B007-06., PCT Designated States: Designated States W: AU, BB, BG, BR, CA, CS, FI, HU, JP, KP, KR, LK, MG, MN, MW, NO, PL, RO, RU, SD, UA, US.;

PCT Reg. Des. States: Designated States RW: AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, SE, BF, BJ, (TRUNCATED).

Bobe, A., Meallier, P., Cooper, J. & Coste, C.M. 1998, "Kinetics and Mechanisms of Abiotic Degradation of Fipronil (Hydrolysis and Photolysis).", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 46, no. 7, pp. 2834-2839.

Bocquene, G. 1997, "Cholinesterase activity in the common scallop and the queen scallop from the Bay of Brest (France): a tool for the detection of effects of organophosphorous and carbamate insecticides", *Annales De L Institut Oceanographique*, vol. 73, no. 1, pp. 59-68.

Bogart, J.D. & League, J.R. 1988, "Biological remediation of underground storage facilities.", *Proceedings - APCA Annual Meeting*, vol. 81st, no. 1, pp. Paper 88/7.2, 16.

Bogert, R., Faircloth, H., LaMori, P. & Kershner, M. 2004, "DNAPL remediation combining thermal extraction and reductive dechlorination.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 5A.12/1-5A.12/9.

Bondarenko, S. & Gan, J. 2004, "Degradation of selected organophosphate and carbamate insecticides in waters from a coastal watershed.", , pp. AGRO.

Bondarenko, S. & Gan, J. 2004, "Degradation and sorption of selected organophosphate and carbamate insecticides in urban stream sediments", *Environmental toxicology and chemistry / SETAC*, vol. 23, no. 8, pp. 1809-1814.

Bondarenko, S., Gan, J., Haver, D.L. & Kabashima, J.N. 2004, "Persistence of selected organophosphate and carbamate insecticides in waters from a coastal watershed", *Environmental toxicology and chemistry / SETAC*, vol. 23, no. 11, pp. 2649-2654.

Boni, M.R., Lombardi, G. & Papini, M.P. 1999, "Bioremediation of a phenol-contaminated soil in slurry-phase as affected by nutrients content.", *Journal of Solid Waste Technology and Management*, vol. 26, no. 2, pp. 70-73.

Boni, M.R., Lombardi, G. & Petrangeli Papini, M. 1998, "Bioremediation of a phenol-contaminated soil in slurry-phase as affected by aqueous medium salinity.", *Proceedings of the International Conference on Solid Waste Technology and Management*, vol. 14th, pp. 10A.4/1-10A.4/6.

Bonten, L.T.C., Grotenhuis, T.C. & Rulkens, W.H. 1999, "Enhanced biodegradation of PAH contaminants by thermal pretreatment.", *International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, 5th, San Diego, Apr. 19-22, 1999*, vol. 8, pp. 265-270.

Bonten, L.T.C., Grotenhuis, T.C. & Rulkens, W.H. 1999, "Enhancement of PAH biodegradation in soil by physicochemical pretreatment.", *Chemosphere*, vol. 38, no. 15, pp. 3627-3636.

Boone, R.L. & Lyverse, M. 2004, "Testing activities for efficient operation of a horizontal soil vapor extraction well at a former petroleum refinery.",

Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Assessment, and Remediation, Conference and Exposition, Baltimore, MD, United States, Aug.16-18, 2004, , pp. 210-227.

Bost, R.C. & Barber, T. 1998, *Microorganism culture for remediation of chlorinated hydrocarbons and method of use.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: B09B003-00.; Secondary IPC: C07C004-00; C07C006-00; C12N001-00; C12N001-20., PCT Designated States: Designated States W: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, GW, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, P(TRUNCATED).

Bova, J.C. 1999, "Enhanced thermal conduction - An alternative solution for removing a broad range of hydrocarbons from contaminated soils.", *Annual Meeting & Exhibition Proceedings CD-ROM - Air & Waste Management Association, 92nd, St.Louis, MO, United States, June 20-24, 1999, , pp. 4446-4452.*

Bower, C.G. & Bernat, A.W. 1998, *Integrated soil and fluid decontamination system.*, Patent Kind Code: A edn, Main IPC: B01D037-00., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US.

BOWMAN, B.T. & SANS, W.W. 1980, "Stability of Parathion and Ddt in Dilute Iron Solutions", *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, vol. 15, no. 3, pp. 233-246.

Bozzini, C., Romanow, S. & Halloran, A.R. 1993, "Treatability testing of soil from a pesticide-manufacturing facility.", *Hazardous and Industrial Wastes*, vol. 25th, pp. 83-92.

Brahmaprakash, G.P., Panda, S. & Sethunathan, N. 1987, "Relative persistence of hexachlorocyclohexane, methyl parathion and carbofuran in an alluvial soil under flooded and non-flooded conditions.", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 19, no. 1, pp. 29-39.

Brandt, C.A. & Becker, J.M. 1995, "Sitewide biological risk assessment Eielson Air Force Base, Alaska: Risks to terrestrial receptors from diverse contaminants.", *Proceedings of the International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation, 5th, Berlin, Sept.3-7, 1995*, vol. 2, pp. 1529-1533.

Bremner, J.M. & Douglas, L.A. 1971, "Inhibition of urease activity in soils.", *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 3, no. 4, pp. 297-307.

Brodsky, P.H. & Ho, S.V. 1995, *In-situ remediation of contaminated heterogeneous soils.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: B09C001-08.; Secondary IPC: A62D003-00., PCT Designated States: Designated States W: AU, BB, BG, BR, BY, CA, CN, CZ, FI, GE, HU, JP, KG, KR, KZ, LK, LV, MD, MG, MN, MW, NO, NZ, PL, RO, RU, SD, SI, SK, TJ, TT, UA, UZ, VN.; PCT Reg. Des. States: Designated States RW: AT, BE, CH, DE, DK, (TRUNCATED).

Brust, C.J. & Albert, J.L. 2001, "The use of transplanted giant clams to identify pollutants in storm water discharges at U.S. Army Kwajalein Atoll.", *Conference Proceedings - Water Environment Federation Annual Conference &*

Exposition, 74th, Atlanta, GA, United States, Oct. 13-17, 2001, , pp. 5235-5256.

Buosi, D. & Felfili, J.M. 2004, "Remediation of soils contaminated by organochlorine pesticides in Cidade dos Meninos, Duque de Caxias, R.J., Brazil.", *Revista Arvore*, vol. 28, no. 3, pp. 465-470.

Burleigh, M.C., Markowitz, M.A., Spector, M.S. & Gaber, B.P. 2002, "Porous Polysilsesquioxanes for the Adsorption of Phenols.", *Environmental Science and Technology*, vol. 36, no. 11, pp. 2515-2518.

Burton, G.A., Jr 2002, "Sediment quality criteria in use around the world.", *Limnology*, vol. 3, no. 2, pp. 65-75.

BUSCH, K.L., BURSEY, M.M., HASS, J.R. & SOVOCOL, G.W. 1978, "Comparison of 5 Ionization Methods for Producing Mass-Spectra of Typical Organophosphorus Pesticides", *Applied Spectroscopy*, vol. 32, no. 4, pp. 388-399.

Campbell, B.E., Hansen, J.E. & Timmerman, C.L. 1996, "In situ vitrification (ISV): an evaluation of the disposition of contaminant species during thermal processing.", *Proceedings of the International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Savannah, May 6-10, 1996*, , pp. 547-552.

Carr, R.S., Biedenbach, J.M. & Hooten, R.L. 2001, "Sediment quality assessment survey and toxicity identification evaluation studies in Lavaca Bay, Texas, a marine Superfund site.", *Environmental toxicology*, vol. 16, no. 1, pp. 20-30.

Carrigan, C.R. & Nitao, J.J. 2000, "Predictive and Diagnostic Simulation of In Situ Electrical Heating in Contaminated, Low-Permeability Soils.", *Environmental Science and Technology*, vol. 34, no. 22, pp. 4835-4841.

Catalan, L.J.J., Jamaluddin, A.K.M., Moore, R.G., Ursenbach, M.G., Okazawa, N. & Mehta, S.A. 1998, "Flare pit waste remediation by low temperature oxidation.", *Journal of Canadian Petroleum Technology*, vol. 37, no. 11, pp. 35-43.

Cavallaro, C.L., Liu, Y., Schwartz, J. & Smith, P. 1996, "Catalytic dehalogenation of aromatic halides.", *New Journal of Chemistry*, vol. 20, no. 2, pp. 253-257.

Cernik, M. & Kvapil, P. 2002, "Modelling of steam injection for removal of non-aqueous phase.", *Water Studies Series*, vol. 11, no. Oil and Hydrocarbon Spills III, pp. 277-286.

Chaffins, R., Camacho, J.M., Bales, F., Leibbert, J.M. & Wagner, G. 2003, "Indirect thermal desorption of PCP and dioxin contaminated soils - a case study.", *Proceedings of the Annual International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, 22nd, Orlando, FL, United States, May 12-16, 2003*, , pp. 411-417.

Chahine, G.L. & Kalumuck, K.M. 2001, *Fluid jet cavitation method and system for efficient decontamination of liquids.*, Patent Kind Code: B1 edn, Main IPC: C02F001-00.; Secondary IPC: C02F001-02; C02F001-32; F15D001-02., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US.

Chahine, G.L. & Kalumuck, K.M. 2001, *Swirling fluid jet cavitation method and system for efficient decontamination of liquids.*, Patent Kind Code: B1 edn, Main IPC: C02F001-00.; Secondary IPC: C02F001-02; C02F001-32; F15D011-02., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US.

Chandler, R.F., Jr. & Grinnell, H.C. 1949, "Annual report.", *New Hampshire Agr.Expt.Sta., Bull.*, vol. 382, pp. 2-47.

Chapman, T.E., Mook, P.H., Jr. & Wong, K.B. 1997, "Performance of in-situ soil and groundwater treatment systems at McClellan Air Force Base.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 90th, pp. FA16403/1-FA16403/9.

Chawla, J.B. & Ingle, A.O. 2004, "Biodegradation of 2-, 3- and chlorophenols by a defined mixed culture.", *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 133-137.

Chen, B., Zhu, L. & Tao, S. 2005, "Thermodynamics of phenanthrene partition into solid organic matter from water", *Journal of Environmental Sciences (China)*, vol. 17, no. 2, pp. 185-189.

Chen, G., Adams, J., Bemis, J., Booker, S., Cai, G., Croghan, M., Dipietro, L., Dominguez, C., Elbaum, D., Germain, J., Geuns-meyer, S., Handley, M., Huang, Q., Kim, J.L., Kim, T., Kiselyov, A., Ouyang, X., Patel, V.F., Smith, L.M., Stec, M., Tasker, A., Xi, N., Xu, S. & Yuan, C.C. 2002, *Preparation of heterocyclalkylamine derivatives as remedies for angiogenesis mediated diseases.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D409-12.; Secondary IPC: C07D409-14; C07D213-82; C07D401-12; C07D401-14; C07D409-04; C07D413-14; C07D417-14; C07D405-14; C07D405-12., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L(TRUNCATED).

Cheng, K.Y., Zhao, Z.Y. & Wong, J.W.C. 2004, "Biosurfactants produced from *Pseudomonas aeruginosa* P-CG3: effects on the solubilization and desorption of PAHs in a soil-aqueous system under thermophilic conditions.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004.*, pp. 4A.16/1-4A.16/7.

Cheng, K.Y., Zhao, Z.Y. & Wong, J.W.C. 2004, "Solubilization and desorption of PAHs in soil aqueous system by biosurfactants produced from *Pseudomonas aeruginosa* P-CG3 under thermophilic condition.", *Environmental technology*, vol. 25, no. 10, pp. 1159-1165.

CHIAN, E.S.K. & DEWALLE, F.B. 1977, "Organics", *Journal Water Pollution Control Federation*, vol. 49, no. 6, pp. 942-986.

Cho, T., Wild, J.R. & Donnelly, K.C. 2000, "Utility of organophosphorus hydrolase for the remediation of mutagenicity of methyl parathion.", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 19, no. 8, pp. 2022-2028.

- Cho, Y.G., Lee, S.T., Park, Y.H. & Yoon, J.H. 2001, *Novel strain, Rhodococcus koreensis DNP 505 decomposing 2,4-dinitrophenol.*, Patent Kind Code: A edn, Main IPC: C12N001-20., Patent Application Country: Application: KR; Patent Country: KR.
- Cho, Y.G., Lee, S.T., Park, Y.H. & Yoon, J.H. 2001, *Rhodococcus pyridinovorans PDB9 for use in biodegradation of aromatic compounds.*, Patent Kind Code: A edn, Main IPC: C12N001-20., Patent Application Country: Application: KR; Patent Country: KR.
- Choroszy-Marshall, M. & Owens, W. 1994, "Residue retention of five metals in soil treated by low temperature thermal desorption.", *Therm. Treat. Radioact., Hazard. Chem., Mixed, Munitions, Pharm. Wastes, Proc. Int. Incineration Conf., 13th*, , pp. 593-596.
- Chowdhury, A.K., Kinsman, L. & Wilk, S.K. 2005, *Method for treating recalcitrant organic compounds.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C02F001-70., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US; Priority Application Country: US.
- Christiansen, J., Irwin, B., Titcomb, E. & Morris, S. 1989, "Protocol development for the biological remediation of a wood-treating site.", *Int. Conf. Physicochemical Biol. Detoxif. Hazard. Wastes*, vol. 2, pp. 890-904.
- Chu, W. 2003, "Remediation of Contaminated Soils by Surfactant-Aided Soil Washing.", *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, vol. 7, no. 1, pp. 19-24.
- Chu, W. & Chan, K.-. 2000, "The prediction of partitioning coefficients for chemicals causing environmental concern.", *Science of the Total Environment*, vol. 248, no. 1, pp. 1-10.
- Clarke, A.N., Megehee, M.M., Oma, K.H. & Wilson, D.J. 1996, "A new technology for the destruction of vapor phase chlorinated compounds.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 89th, pp. wa75a05/1-wa75a05/16.
- Clarke, A.N., Wilson, D.J. & dePercin, P.R. 1994, "Thermally enhanced vapor stripping.", *Environmental Science and Pollution Control Series*, vol. 6, no. Hazardous Waste Site Soil Remediation, pp. 243-264.
- Claus, H. & Filip, Z. 1989, "Effects of some solid soil constituents and other environmental factors on the activity of phenol oxidases.", *DECHEMA Biotechnology Conferences*, vol. 3, no. Pt. B, Biochem. Eng., Environ. Biotechnol., Recovery Bio-prod., Saf. Biotechnol., pp. 899-903.
- Cleveland, C.B., Bormett, G.A., Saunders, D.G., Powers, F.L., McGibbon, A.S., Reeves, G.L., Rutherford, L. & Balcer, J.L. 2002, "Environmental fate of spinosad. 1. Dissipation and degradation in aqueous systems", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, no. 11, pp. 3244-3256.
- Cohen, A.M. & Nugegoda, D. 2000, "Toxicity of three oil spill remediation techniques to the Australian bass *Macquaria novemaculeata*", *Ecotoxicology and environmental safety*, vol. 47, no. 2, pp. 178-185.
- Collina, E., Lasagni, M. & Pitea, D. 1999, "Identification, characterization, and remediation of contaminated sites: a case study.", *Annals of the New York*

Academy of Sciences, vol. 879, no. Tempos in Science and Nature: Structures, Relations, and Complexity, pp. 396-399.

Cong, Y., Wu, Z., Zhou, M., Ye, Q. & Tan, T. 2003, "In site electrochemical reactions for phenolic groundwater remediation.", *Preprints of Extended Abstracts presented at the ACS National Meeting, American Chemical Society, Division of Environmental Chemistry*, vol. 43, no. 1, pp. 772-776.

Conley, D.M. & Lonie, C.M. 2000, "Field scale implementation of in situ thermal desorption thermal well technology.", *Physical and Thermal Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 2nd, Monterey, CA, United States, May 22-25, 2000*, , pp. 175-182.

Conley, D.M., Savarese, J.G., Gupta, S. & Baker, R.S. 2002, "Field demonstration of thermally enhanced multiphase extraction on chlorinated solvent-impacted soil and groundwater.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2002, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 3rd, Monterey, CA, United States, May 20-23, 2002*, , pp. 1849-1856.

Conner, J.R. & Huffman, J.M. 1994, "Comparison of U.S. and foreign test protocols on stabilized hazardous wastes.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 87th, no. Vol. 14A, Contaminated Site Remediation Technologies, pp. 1-16, Paper 94-TA22.02.

Coons, M.A. 2001, "Summary of pilot operation thermally enhanced soil vapor extraction and free product recovery. Former Chemical Waste Disposal Area Naval Air Station North Island, California.", *Prague 2000, International Symposium & Exhibition on Environmental Contamination in Central & Eastern Europe, Proceedings, 5th, Prague, Czech Republic, Sept.12-14, 2000*, , pp. 1919-1925.

Cox, C.D., Shoesmith, M.A. & Ghosh, M.M. 1996, "Electrokinetic Remediation of Mercury-Contaminated Soils Using Iodine/Iodide Lixiviant.", *Environmental Science and Technology*, vol. 30, no. 6, pp. 1933-1938.

Crane, J.L. 1996, "Carcinogenic human health risks associated with consuming contaminated fish from five Great Lakes areas of concern.", *Journal of Great Lakes Research*, vol. 22, no. 3, pp. 653-668.

Crecchio, C., Ruggiero, P., Pizzigallo, M.D.R. & Curci, M. 1997, "Potential utilization of phenoloxidases immobilized in organic gels for decontamination of polluted sites.", *Developments in Plant and Soil Sciences*, vol. 71, no. Modern Agriculture and the Environment, pp. 545-552.

Cummings, M. & Booth, S.R. 1996, "A summary of the cost effectiveness of innovative off-gas treatment technologies.", *Proceedings of the International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Savannah, May 6-10, 1996*, , pp. 707-713.

Dablow, J. & Balshaw-Biddle, K. 1998, "Thermal enhancement and fracturing to remove semivolatile organic compounds from clay.", *Physical, Chemical, and Thermal Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated*

and Recalcitrant Compounds, 1st, Monterey, Calif., May 18-21, 1998, , pp. 109-114.

Dablow, J.F.,III 1997, "Thermal and physical enhancement techniques for remediation of clay soils.", *Gas, Oil, and Environmental Biotechnology and Site Remediation Technologies, International IGT Symposium -- 10th, Orlando, Fla., Dec.8-10, 1997*, , pp. XXXII/1-XXXII/7.

Dadkhah, A.A. & Akgerman, A. 2002, "Hot water extraction with in situ wet oxidation: PAHs removal from soil", *Journal of hazardous materials*, vol. 93, no. 3, pp. 307-320.

Dagan, G., Sampath, S. & Lev, O. 1995, "Preparation and Utilization of Organically Modified Silica-Titania Photocatalysts for Decontamination of Aquatic Environments.", *Chemistry of Materials*, vol. 7, no. 3, pp. 446-453.

Dagdigian, J.V. 1997, "An example of remediation of mercury impacted soil using high vacuum low temperature thermal desorption.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 90th, pp. WA83A01/1-WA83A01/16.

Dagdigian, J.V., Czernek, J., O'Ham, J. & Hill, R.D. 1997, "Vacuum enhanced thermal desorption treatment of mixed waste: a case study performed at Rocky Flats.", *Proceedings of the International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Oakland, Calif., May 12-16, 1997*, , pp. 579-585.

Dagdigian, J.V. & Stolz, C.A. 1996, "High vacuum, low temperature thermal desorption remediation of mercury impacted soil.", *Proceedings of the International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Savannah, May 6-10, 1996*, , pp. 207-212.

Dakiniewicz, P. 2002, "Thermal enhancement of soil vapor extraction.", , pp. 189.

Dakiniewicz, P. & Kawala, Z. 2001, "Modeling of thermally enhanced soil vapor extraction.", *Inzynieria Chemiczna i Procesowa*, vol. 22, no. 3B, pp. 361-366.

Dannenbergh, A. & Pehkonen, S.O. 1998, "Investigation of the heterogeneously catalyzed hydrolysis of organophosphorus pesticides", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 46, no. 1, pp. 325-334.

Darskus, R., Hagenmaier, H., Von Holst, C. & Berkmann, L. 1994, "Rapid determination of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin in thermally treated soil.", *Fresenius' journal of analytical chemistry*, vol. 348, no. 1-2, pp. 148-149.

De Voe, C. & Udell, K.S. 1998, "Thermodynamic and hydrodynamic behavior of water and DNAPLs during heating.", *Nonaqueous-Phase Liquids: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 1st, Monterey, Calif., May 18-21, 1998*, , pp. 61-66.

De, J., Ramaiah, N., Mesquita, A. & Verlekar, X.N. 2003, "Tolerance to various toxicants by marine bacteria highly resistant to mercury.", *Marine Biotechnology*, vol. 5, no. 2, pp. 185-193.

Deeds, N.E., Pope, G.A. & McKinney, D.C. 1999, "Vadose Zone Characterization at a Contaminated Field Site Using Partitioning Interwell Tracer Technology.", *Environmental Science and Technology*, vol. 33, no. 16, pp. 2745-2751.

Delfino, J.J., Cline, P.V. & Miles, C.J. 1989, "Laboratory models for assessing the fate of groundwater contaminants.", *Florida Scientist*, vol. 52, no. 3, pp. 207-213.

DELICASTRO, S.A. & ZERBA, E.N. 1992, "A Note on the Thermal-Decomposition of Malathion", *Anales De La Asociacion Quimica Argentina*, vol. 80, no. 4, pp. 359-363.

den Besten, P.J., Postma, J.F., Wegener, J.W.M., Keidel, H., Klink, A., Mol, J. & van de Guchte, C. 2000, "Biological and chemical monitoring after pilot remediations in the delta of the rivers Rhine and Meuse.", *Aquatic Ecosystem Health & Management*, vol. 3, no. 3, pp. 317-334.

Dev, H. & Phelan, J.M. 1996, "In situ electrical heating for the decontamination of soil.", *Proceedings of the American Power Conference*, vol. 58, no. 1, pp. 337-341.

Devlin, J.F. & Allin, K.O. 2005, "Major Anion Effects on the Kinetics and Reactivity of Granular Iron in Glass-Encased Magnet Batch Reactor Experiments.", *Environmental Science and Technology*, vol. 39, no. 6, pp. 1868-1874.

Di Palma, L. 2003, "Experimental assessment of a process for the remediation of organophosphorous pesticides contaminated soils through in situ soil flushing and hydrolysis", *Water, air, and soil pollution*, vol. 143, no. 1-4, pp. 301-314.

Diamond, M.L., Poulton, D.J., Mackay, D. & Stride, F.A. 1994, "Development of a mass balance model of the fate of 17 chemicals in the Bay of Quinte.", *Journal of Great Lakes Research*, vol. 20, no. 4, pp. 643-666.

Ding, J. & Wu, S. 1997, "Transport of organochlorine pesticides in soil columns enhanced by dissolved organic carbon.", *Water Science and Technology*, vol. 35, no. 7, Adsorption in the Water Environment and Treatment Processes, pp. 139-145.

Divine, C.E. 2001, "New hope for NAPL. A review of promising characterization and remediation techniques.", *Contaminated Soil Sediment & Water*, , no. Dec., pp. 15-20.

Dixon, D.P. & Edwards, R. 2004, *Gene shuffling and site directed mutagenesis of maize glutathione transferase genes GST1 and GST2 for enhanced detoxification of pesticides and organic pollutants.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C12N015-10.; Secondary IPC: C12N009-10., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L(TRUNCATED).

Dooley, K.M., Ghonasgi, D., Knopf, F.C. & Gambrell, R.P. 1990, "Supercritical carbon dioxide-cosolvent extraction of contaminated soils and sediments.", *Environmental Progress*, vol. 9, no. 4, pp. 197-203.

- Dott, W., Feidieker, D., Steiof, M., Becker, P.M. & Kaempfer, P. 1995, "Comparison of ex situ and in situ techniques for bioremediation of hydrocarbon-polluted soils.", *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 35, no. 1-3, Biosorption and Bioremediation, pp. 301-316.
- Dow, J.J. 1984, "T H Agriculture and Nutrition Company site cleanup.", *Hazard.Wastes Environ.Emerg.: Manage., Prev., Cleanup, Control, [Pap. - Natl.Conf.Exhib.]*, , pp. 91-96.
- Downey, D.C. & Elliott, M.G. 1990, "Performance of selected in situ soil decontamination technologies: an Air Force perspective.", *Environmental Progress*, vol. 9, no. 3, pp. 169-173.
- Downey, J.P., Eccleston, E.C. & Hager, J.P. 1999, "Application of thermal technology to arsenic remediation problems.", *REWAS '99--Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, Proceedings, San Sebastian, Spain, Sept.5-9, 1999*, vol. 2, pp. 1675-1683.
- Draper, W.M. & Wolfe, N.L. 1987, "Abiotic processes in the degradation of pesticides in natural waters.", *Pestic.Sci.Biotechnol., Proc.Int. Congr.Pestic.Chem., 6th*, , pp. 425-432.
- Dreesen, D.R., Cokal, E.J., Wangen, L.E., Williams, J.M. & Thode, E.F. 1984, "Thermal stabilization of uranium mill tailings.", *Environmental Science and Technology*, vol. 18, no. 9, pp. 658-667.
- Duffy, C.J. & Brandes, D. 2001, "Dimension reduction and source identification for multispecies groundwater contamination.", *Journal of contaminant hydrology*, vol. 48, no. 1-2, pp. 151-165.
- Duncan, K.W. 2004, *Method for decontamination of soil by fungal enzymes.*, Patent Kind Code: A edn, Main IPC: B09C001-10.; Secondary IPC: A62D003-00; C12N001-22; C12N009-00., Patent Application Country: Application: NZ; Patent Country: NZ.
- Eaker, C.L. & Weidner, R.S. 2006, "Thermal Remediation of Creosote and Pentachlorophenol in a Heterogenous Stratigraphy.", , pp. WRM.
- Edwards, A.J. & Clark, S. 1999, "Coral transplantation: a useful management tool or misguided meddling?", *Marine pollution bulletin*, vol. 37, no. 8-12, pp. 474-487.
- Efremenko, E.N., Azizov, R.E.O., Makhlis, T.A. & Varfolomeev, S.D. 2005, *Method for differentiated determination of microorganism number in mixed cultures.*, Patent Kind Code: C1 edn, Main IPC: C12Q001-06.; Secondary IPC: C12Q001-04; C12Q001-66., Patent Application Country: Application: RU; Patent Country: RU.
- Efremova, T.T. & Melent'eva, N.V. 1981, "Biological properties of peat soils as related to forest hydromelioration.", *Pochvovedenie*, , no. 2, pp. 117-127.
- Egemen, E. & Nirmalakhandan, N. 1997, "Nomographs for soil vapor extraction and off-gas treatment by activated carbon adsorption.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 90th, pp. FA16401/1-FA16401/17.

- Eito, T., Terakura, S., Suzuki, H., Ueshima, N., Hamazaki, A. & Arikawa, M. 2003, *Apparatus for remediation of soil polluted with harmful organic substances.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: B09C001-02.; Secondary IPC: B01D005-00; B01D011-02; B01D053-04; B09C001-08., Patent Application Country: JP; Patent Country: JP.
- El Beit, I.O.D., Wheelock, J.V. & Cotton, D.E. 1978, "Separation and characterization of dimethoate metabolites developing in soil and alkaline solution.", *International Journal of Environmental Studies*, vol. 12, no. 3, pp. 215-225.
- El Bestawy, E.A., Mansy, A.H. & El Koweidy, A.H. 2002, "The potential use of Bacillus spp. in the bioremediation of highly persistent chlorinated pesticides.", *Al-Azhar Journal of Microbiology*, vol. 55, pp. 320-335.
- Eneji, I.S., Buncel, E. & van Loon, G.W. 2002, "Degradation and Sorption of Pirimiphos-methyl in Two Nigerian Soils.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, no. 20, pp. 5634-5639.
- Engelmann, M.D., Doyle, J.G. & Cheng, I.F. 2001, "The complete dechlorination of DDT by magnesium/palladium bimetallic particles", *Chemosphere*, vol. 43, no. 2, pp. 195-198.
- Ensley, H.E., Sharma, H.A., Barber, J.T. & Polito, M.A. 1997, "Metabolism of chlorinated phenols by Lemna gibba, duckweed.", *ACS Symposium Series*, vol. 664, no. Phytoremediation of Soil and Water Contaminants, pp. 238-253.
- Evans, J., Kaake, R.H., Orr, M. & Watwood, M. 1998, "A comparison of ultrasonication and Soxhlet methods for DDT extraction from soil.", *Journal of Soil Contamination*, vol. 7, no. 5, pp. 589-597.
- Evans, J.M., Charlton, D.S., Harju, J.A., Kuhnel, V. & Stepan, D.J. 1995, "Mercury-contaminated soil remediation technologies.", *Operating Section Proceedings - American Gas Association*, , pp. 265-273.
- Fain, S., Holloway, C., Heath, W., Lundberg, W.R., Walters, G. & Ficklen, D. 2002, "Electrical resistance heating under an active industrial plant.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2002, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 3rd, Monterey, CA, United States, May 20-23, 2002*, , pp. 1792-1799.
- Farag, A.B., Al-Kubaisi, A.H., El-Wakil, A.M. & Abo-El-Maaty, W.M. 1992, "The extraction and recovery of some organic insecticides from aqueous media with cellular polyurethanes.", *International Journal of Chemistry*, vol. 3, no. 3, pp. 135-142.
- Farkas, A. & Dekany, I. 2001, "Interlamellar adsorption of organic pollutants in hydrophobic montmorillonite.", *Colloid and Polymer Science*, vol. 279, no. 5, pp. 459-467.
- Farkas, A. & Dekany, I. 2001, "Interlamellar adsorption of organic pollutants on organophilized montmorillonite.", *Magyar Kemiai Folyoirat*, vol. 107, no. 11, pp. 466-475.

- Farrell, R., Lamar, R. & White, R. 2004, *Bioremediation of contaminated soils or wood using wood-rot fungi.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C12N001-14.; Secondary IPC: C12S013-00; C12S003-04; C12S003-08; C02F011-02., PCT Designated States: Designated States W: AE.; Patent Application Country: Application: WO; Patent Country: WO; Priority Application Country: NZ.
- Fayed, M.E. 1999, *Process for removing contaminants.*, Patent Kind Code: AA edn, Main IPC: B01D015-00.; Secondary IPC: B09C001-02; C02F001-28., Patent Application Country: Application: CA; Patent Country: CA.
- Feidieker, D., Kaempfer, P. & Dott, W. 1995, "Field-scale investigations on the biodegradation of chlorinated aromatic compounds and HCH in the subsurface environment.", *Journal of contaminant hydrology*, vol. 19, no. 2, pp. 145-169.
- Feltman, W.R. 1999, "Thermal desorption of PAH's and pentachlorophenol.", *Proceedings of the International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Orlando, Fla., May 10-14, 1999*, , pp. 53-58.
- Fennell, D.E., Haggblom, M.M., Zinder, S.H. & Nijenhuis, I. 2005, *Methods for remediating materials contaminated with halogenated aromatic compounds.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C12S001-00., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US; Priority Application Country: US.
- Fennell, D.E., Nijenhuis, I., Wilson, S.F., Zinder, S.H. & Haeggblom, M.M. 2004, "Dehalococcoides ethenogenes Strain 195 Reductively Dechlorinates Diverse Chlorinated Aromatic Pollutants.", *Environmental Science and Technology*, vol. 38, no. 7, pp. 2075-2081.
- Ferraro, S.P. & Cole, F.A. 1997, "Effects of DDT sediment-contamination on macrofaunal community structure and composition in San Francisco Bay.", *Marine Biology (Berlin)*, vol. 130, no. 2, pp. 323-334.
- Fialova, A., Cejkova, A., Masak, J. & Jirku, V. 2003, "Comparison of yeast (*Candida maltosa*) and bacterial (*Rhodococcus erythropolis*) phenol hydroxylase activity and its properties in the phenolic compounds biodegradation.", *Mededelingen - Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen (Universiteit Gent)*, vol. 68, no. 2a, pp. 155-158.
- Filler, D.M. 1997, "Thermally enhanced bioventing of petroleum hydrocarbons in cold regions.", , pp. 194.
- Foster, L.J.R., Kwan, B.H. & Vancov, T. 2004, "Microbial degradation of the organophosphate pesticide, Ethion", *FEMS microbiology letters*, vol. 240, no. 1, pp. 49-53.
- Foster, M.L., Douglas, M.L., Nicotri, P.J. & Wyss, A.W. 1996, "Status of the Times Beach remediation project.", *Proceedings of the International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Savannah, May 6-10, 1996*, , pp. 351-357.
- Foster, S.A., Pearsall, L.J. & Chrostowski, P.C. 1997, "Comparative risk assessment of remedial alternatives for contaminated sludge.", *Proceedings*,

Annual Meeting - Air & Waste Management Association, vol. 90th, pp. TA8402/1-TA8402/15.

Fowler, G.D., Sollars, C.J., Ouki, S.K. & Perry, R. 2000, "Treating contaminated soil by conversion into carbonaceous adsorbents: an investigation of activation procedures.", *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 75, no. 2, pp. 121-130.

Freed, V.H., Chiou, C.T. & Schmedding, D.W. 1979, "Degradation of selected organophosphate pesticides in water and soil.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 27, no. 4, pp. 706-708.

Freire, R.S., Duran, N. & Kubota, L.T. 2002, "Development of a laccase-based flow injection electrochemical biosensor for the determination of phenolic compounds and its application for monitoring remediation of Kraft E1 paper mill effluent.", *Analytica Chimica Acta*, vol. 463, no. 2, pp. 229-238.

Freitag, D., Scheunert, I., Klein, W. & Korte, F. 1984, "Long-term fate of 4-chloroaniline-14C in soil and plants under outdoor conditions. A contribution to terrestrial ecotoxicology of chemicals.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 32, no. 3, pp. 203-207.

Friis, A.K., Albrechtsen, H.-., Bjerg, P.L. & Heron, G. 2005, "Redox processes and release of organic matter after thermal treatment of a TCE-contaminated aquifer", *Environmental Science and Technology*, vol. 39, no. 15, pp. 5787-5795.

Frisbie, A.J. & Nies, L. 1997, "Aerobic and anaerobic biodegradation of aged pentachlorophenol by indigenous microorganisms.", *Bioremediation Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 65-75.

Fukami, H., Ito, A., Niwata, S., Kakutani, S., Sumida, M. & Kiso, Y. 1997, *Preparation of 2-phenylsulfonyl- and 2-(heterocyclylsulfonyl)quinazoline derivatives as chymase inhibitors.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D239-96.; Secondary IPC: A61K031-505., PCT Designated States: Designated States W: JP, US.; PCT Reg. Des. States: Designated States RW: AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE.; Patent Application Country: Application: WO; Patent Country: WO; Priority Appli(TRUNCATED).

Germain, A., Bizzarri, D. & Dodet, C. 2000, "Thermal decomposition of ethyl and methyl parathion", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 13, no. 1, pp. 1-5.

Getman, G.D. 2000, "Solvated electron technology (SET): A process for remediation of recalcitrant materials.", *Case Studies in the Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 2nd, Monterey, CA, United States, May 22-25, 2000*, , pp. 349-356.

Getzin, L.W. & Rosefield, I. 1971, "Partial purification and properties of a soil enzyme that degrades the insecticide malathion.", *Biochimica et Biophysica Acta, Enzymology*, vol. 235, no. 3, pp. 442-453.

Gfeller, M. & Furrer, G. 1994, "Kinetics and mechanisms of abiotic transformations: surface-catalyzed hydrolysis of pesticides in steady-state

systems.", *Transp.React.Processes Aquifers, Proc.IAHR/AIRH Symp.*, , pp. 59-65.

Ghuman, A.S. 1995, "TESVE model for design of soil vapor extraction systems with thermal enhancement.", *Proceedings of HAZMACON '95, Hazardous Materials Management Conference and Exhibition, 12th, San Jose, Apr.4-6, 1995*, , pp. 235-243.

Gimeno, O., Carbajo, M., Beltran, F.J. & Rivas, F.J. 2005, "Phenol and substituted phenols AOPs remediation", *Journal of hazardous materials*, vol. 119, no. 1-3, pp. 99-108.

Goi, A. & Trapido, M. 2004, "Combined methods for remediation of nitrophenol-contaminated soil.", *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 13, no. 11b, y, pp. 1191-1196.

Goskonda, S., James Catallo, W. & Junk, T. 2002, "Sonochemical degradation of aromatic organic pollutants.", *Waste Management (Oxford, United Kingdom)*, vol. 22, no. 3, pp. 351-356.

Govind, R., Lei, L. & Tabak, H. 1996, "Development of structure biodegradability relationships (SBRs) for estimating half-lives of organic contaminants in soil systems.", *NATO ASI Series, Series 2: Environment*, vol. 23, no. Biodegradability Prediction, pp. 115-138.

Grace, S., Harris, M. & Roushey, W. 1995, "Results of treatability studies for the remediation of plutonium and americium from surface soils at the Rocky Flats Superfund site.", *Soil & Environment*, vol. 5, no. Contaminated Soil 95, Vol. 2, pp. 1221-1222.

Graham, A.L., Carlson, C.A. & Edmiston, P.L. 2002, "Development and characterization of molecularly imprinted sol-gel materials for the selective detection of DDT", *Analytical Chemistry*, vol. 74, no. 2, pp. 458-467.

Graham, L.J. & Jovanovic, G. 1999, "Dechlorination of p-chlorophenol on a Pd/Fe catalyst in a magnetically stabilized fluidized bed; implications for sludge and liquid remediation.", *Chemical Engineering Science*, vol. 54, no. 15-16, pp. 3085-3093.

Gramatica, P., Pilutti, P. & Papa, E. 2005, "Ranking of phenols for abiotic oxidation in aqueous environment: A QSPR approach.", *Annali di Chimica (Rome, Italy)*, vol. 95, no. 3-4, pp. 199-209.

Gray, M.R., Banerjee, D.K., Dudas, M.J. & Pickard, M.A. 2000, "Protocols to enhance biodegradation of hydrocarbon contaminants in soil.", *Bioremediation Journal*, vol. 4, no. 4, pp. 249-257.

Gray, N.C.C., Cline, P.R., Moser, G.P., Moser, L.E., Guiler, H.A., Gray, A.L. & Gannon, D.J. 1999, "Full-scale bioremediation of chlorinated pesticides.", *International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, 5th, San Diego, Apr.19-22, 1999*, vol. 7, pp. 125-130.

Green, D.S., Memon, B.A. & LaMoreaux, P.E. 1997, "Occurrence of DNAPL near an interceptor well.", *Industrial Wastes Technical Conference, New Orleans, Mar.2-5, 1997*, , pp. 13/1-13/10.

- GREENHALGH, R., DHAWAN, K.L. & WEINBERGER, P. 1980, "Hydrolysis of Fenitrothion in Model and Natural Aquatic Systems", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 28, no. 1, pp. 102-105.
- Guo, X. & Jans, U. 2005, "Effect of natural organic matter on the degradation of methyl parathion in aqueous hydrogen sulfide solutions.", *Preprints of Extended Abstracts presented at the ACS National Meeting, American Chemical Society, Division of Environmental Chemistry*, vol. 45, no. 2, pp. 77-77d.
- Gwiazda, M. & Gorecka, K. 1983, "Environmental research on potential pesticides: indispensability and scope under conditions of Poland", *Journal of environmental science and health. Part B, Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*, vol. 18, no. 4-5, pp. 445-463.
- Haderlein, S.B., Weissmahr, K.W. & Schwarzenbach, R.P. 1996, "Specific Adsorption of Nitroaromatic Explosives and Pesticides to Clay Minerals.", *Environmental Science and Technology*, vol. 30, no. 2, pp. 612-622.
- Halloran, A.R., Bozzini, C. & Romanow, S. 1993, "Treatability testing of soil from a pesticide-manufacturing facility.", *Proc. - Water Environ. Fed. Annu. Conf. Expo., 66th*, vol. 5, pp. 223-231.
- Hannah, D.J., Coniglio, B., Kathiravelu, B. & Smart, R. 1997, "Remediation of dioxin, pentachlorophenol, and organochlorine pesticide contaminated soils.", *Organohalogen Compounds*, vol. 31, pp. 370-375.
- Harjanto, S., Kasai, E. & Nakamura, T. 2000, "Remediation technologies of ash and soil contaminated by dioxins and related hazardous compounds.", *ISIJ International*, vol. 40, no. 3, pp. 266-274.
- Harjanto, S., Kasai, E., Terui, T. & Nakamura, T. 2002, "Behavior of dioxin during thermal remediation in the zone combustion process.", *Chemosphere*, vol. 47, no. 7, pp. 687-693.
- Harjanto, S., Kasai, E., Terui, T. & Nakamura, T. 2002, "Formation and transport of PCDD/Fs in the packed bed of soil containing organic chloride during a thermal remediation process.", *Chemosphere*, vol. 49, no. 2, pp. 217-224.
- Harmon, T.C., Burks, G.A., Aycaguer, A. & Jackson, K. 2001, "Thermally enhanced vapor extraction for removing PAHs from lampblack-contaminated soil.", *Journal of Environmental Engineering (Reston, Virginia)*, vol. 127, no. 11, pp. 986-993.
- Hasan, H.A.H. 1999, "Fungal utilization of organophosphate pesticides and their degradation by *Aspergillus flavus* and *A. sydowii* in soil.", *Folia Microbiologica (Prague)*, vol. 44, no. 1, pp. 77-84.
- Hashimoto, M. & Suzuki, K. 2000, *Method for decomposing halogenated organic compound.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: A62D003-00.; Secondary IPC: B09C001-08., Reg.Pat.Tr.Des.States: Designated States R: AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IT, LI, LU, NL, SE, MC, PT, IE, SI, LT, LV, FI, RO.; Patent Application Country: Application: EP; Patent Country: EP; Priority Application Country: JP.
- Hayes, D.F. & Hong, P.A. 2003, *Remediation with ozone of sediments containing organic contaminants.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC:

C02F., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L(TRUNCATED).

Heberer, T. & Duennbier, U. 1999, "DDT Metabolite Bis(Chlorophenyl)acetic Acid: The Neglected Environmental Contaminant.", *Environmental Science and Technology*, vol. 33, no. 14, pp. 2346-2351.

Heitkamp, M.A. & Kimerle, R.A. 2000, *Retrievable organic carbon scavengers for cleaning of contaminated surface water sediments.*, Patent Kind Code: A edn, Main IPC: C02F001-28., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US; Priority Application Country: US.

Heitkamp, M.A. & Orth, R.G. 1997, "Aerobic biodegradation potential of a constructed biozone for Lasagna soil remediation technology.", *Environmental Engineering Science*, vol. 14, no. 3, pp. 153-161.

Heitkamp, M.A. & Stewart, W.P. 1996, "A novel porous nylon biocarrier for immobilized bacteria.", *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 62, no. 12, pp. 4659-4662.

Helsen, L. & Van den, B.E. 2005, "Review of disposal technologies for chromated copper arsenate (CCA) treated wood waste, with detailed analyses of thermochemical conversion processes", *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, vol. 134, no. 2, pp. 301-314.

Heron, G., Van Zutphen, M., Christensen, T.H. & Enfield, C.G. 1998, "Soil Heating for Enhanced Remediation of Chlorinated Solvents: A Laboratory Study on Resistive Heating and Vapor Extraction in a Silty, Low-Permeable Soil Contaminated with Trichloroethylene.", *Environmental Science and Technology*, vol. 32, no. 10, pp. 1474-1481.

Heron, G., Van Zutphen, M. & Enfield, C.G. 1998, "In-line measurement of trichloroethylene vapors using tin dioxide sensors.", *Ground Water Monitoring and Remediation*, vol. 18, no. 4, pp. 111-118.

Heron, G., Carroll, S. & Nielsen, S.G. 2005, "Full-scale removal of DNAPL constituents using steam-enhanced extraction and electrical resistance heating.", *Ground Water Monitoring & Remediation*, vol. 25, no. 4, pp. 92-107.

Heron, G., Carroll, S., Sowers, H., McGee, B., Juhlin, R., Daniel, J. & Ingle, D.S. 2004, "Steam and ET-DSP combined for DNAPL remediation: full-scale site restoration at Young-Rainey STAR Center.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 2B.05/1-2B.05/8.

Heron, G., Christensen, T.H., Heron, T. & Larsen, T.H. 1998, "Thermally enhanced remediation at DNAPL sites: the competition between downward mobilization and upward volatilization.", *Nonaqueous-Phase Liquids: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 1st, Monterey, Calif., May 18-21, 1998*, , pp. 193-198.

Hicks, P., Kubal, J. & Koenigsberg, S. 1999, "Bioremediation of nitrochlorobenzene, nitroaniline, chloroaniline and other organics in groundwater.", *International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, 5th, San Diego, Apr.19-22, 1999*, vol. 7, pp. 223-227.

Hiester, U., Gand, A.K., Faerber, A. & Koschitzky, H. 2004, "Quantitative comparison of the remediation efficiency between conventional SVE and additional thermal well application.", *Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Assessment, and Remediation, Conference and Exposition, Baltimore, MD, United States, Aug.16-18, 2004*, , pp. 228-236.

Hiester, U., Schrenk, V. & Weiss, T. 2003, "Environmental balancing of 'cold' SVE and thermally enhanced soil vapour extraction - practical support for decision makers.", *Wissenschaftliche Berichte - Forschungszentrum Karlsruhe*, , no. FZKA 6943, Consoil 2003, pp. 2253-2262.

Hiester, U., Theurer, T., Winkler, A., Faerber, A., Koschitzky, H. & Gand, A. 2004, "Large-scale analysis of the remediation process with thermal wells.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 3C.06/1-3C.06/8.

Hiester, U., Theurer, T., Winkler, A. & Koschitzky, H. 2002, "Large-scale experiments to develop a thermally enhanced remediation technology.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2002, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 3rd, Monterey, CA, United States, May 20-23, 2002*, , pp. 1572-1579.

Hince, E.C. 2004, *Microbial enzyme-enhanced organic-inorganic solid-chemical composition and methods for anaerobic bioremediation.*, Patent Kind Code: B1 edn, Main IPC: C12N011-18., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US; Priority Application Country: US.

Hince, E.C. 2003, *Solid-chemical composition for extraction/adsorption of hydrophobic chemicals and promotion of their biodegradation comprising plant fiber-containing material and enzymes.*, Patent Kind Code: B1 edn, Main IPC: C12N009-00.; Secondary IPC: C12N001-20; B09B003-00., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US; Priority Application Country: US.

Hince, E.C. 2002, *Method for enhanced anaerobic bioremediation of contaminants in aqueous sediments and other difficult environments.*, Patent Kind Code: B1 edn, Main IPC: C12S013-00., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US.

Hince, E.C. & Singer, J.A. 2002, *Advanced organic-inorganic solid-chemical composition and methods for anaerobic bioremediation.*, Patent Kind Code: B1 edn, Main IPC: B09B003-00., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US.

Hiratsuka, N., Wariishi, H. & Tanaka, H. 2001, "Degradation of diphenyl ether herbicides by the lignin-degrading basidiomycete *Coriolus versicolor*.", *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 57, no. 4, pp. 563-571.

- Ho, S.V., Athmer, C.J., Brackin, J.M., Heitkamp, M.A., Sheridan, P.W., Weber, D. & Brodsky, P.H. 1998, "The LASAGNAT-M process for in situ bioremediation of low-permeability soils.", *Bioremediation*, vol. 3, pp. 393-417.
- Ho, S.V., Sheridan, P.W., Athmer, C.J., Heitkamp, M.A., Brackin, J.M., Weber, D. & Brodsky, P.H. 1995, "Integrated In Situ Soil Remediation Technology: The Lasagna Process.", *Environmental Science and Technology*, vol. 29, no. 10, pp. 2528-2534.
- Ho, S.V., Athmer, C.J., Sheridan, P.W. & Shapiro, A.P. 1997, "Scale-up aspects of the Lasagna process for in situ soil decontamination.", *Journal of hazardous materials*, vol. 55, no. 1-3, pp. 39-60.
- Ho, T.C., Chu, H.W., Lin, C.J., Zaloom, V. & Kim, T.H. 2003, "Microwave technology for environmental applications.", *Proceedings of the Annual International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, 22nd, Orlando, FL, United States, May 12-16, 2003*, pp. 465-473.
- Hochemer, R., Hoffmann, M.R. & Hua, I. 1996, "The sonochemical degradation of p-nitrophenol in a parallel-plate near-field acoustical processor.", *Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment, International Conference, Goslar, Germany, May 12-15, 1996*, pp. Paper 64, pp. 15.
- Hodges, H.I. 1995, "Treating soils with heat", *Military Engineer*, vol. 87, no. 573, pp. 33-35.
- Hoenicke, R., Davis, J.A., Gunther, A., Mumley, T.E., Abu-Saba, K. & Taberski, K. 2003, "Effective Application of Monitoring Information: The Case of San Francisco Bay.", *Environmental monitoring and assessment*, vol. 81, no. 1-3, pp. 15-25.
- Hofmann, J., Freier, U., Wecks, M. & Demund, A. 2005, "Degradation of halogenated organic compounds in ground water by heterogeneous catalytic oxidation with hydrogen peroxide.", *Topics in Catalysis*, vol. 33, no. 1-4, pp. 243-247.
- Hofstetter, T.B., Heijman, C.G., Haderlein, S.B., Holliger, C. & Schwarzenbach, R.P. 1999, "Complete Reduction of TNT and Other (Poly)nitroaromatic Compounds under Iron-Reducing Subsurface Conditions.", *Environmental Science and Technology*, vol. 33, no. 9, pp. 1479-1487.
- Hoke, R.A., Ankley, G.T., Kosian, P.A., Cotter, A.M., Vandermeiden, F.M., Balcer, M., Phipps, G.L., West, C. & Cox, J.S. 1997, "Equilibrium partitioning as the basis for an integrated laboratory and field assessment of the impacts of DDT, DDE and DDD in sediments.", *Ecotoxicology*, vol. 6, no. 2, pp. 101-125.
- Holcomb, D.H., Pitts, D.M., Troxler, W.L., Marchesi, P. & Cleary, J.P. 1998, "Soil restoration with superheated steam remediation, recycle, and recovery (SuperSTR3).", *Designing and Applying Treatment Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 1st, Monterey, Calif., May 18-21, 1998*, pp. 21-26.

Honeycutt, R., Ballantine, L., LeBaron, H., Paulson, D., Seim, V., Ganz, C. & Milad, G. 1984, "Degradation of high concentrations of a phosphorothioic ester by hydrolase.", *ACS Symposium Series*, vol. 259, no. Treat. Disposal Pestic. Wastes, pp. 343-352.

Horne, B.K. & Carlsen, T.J. 1995, "Remediation of manufactured gas plant (MGP) sites by high temperature thermal distillation.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 88th, no. Vol. 15, pp. 95-RP145.02.

Horne, I., Khurana, J.L., Sutherland, T.D., Russell, R.J. & Oakeshott, J.G. 2005, *Variants of phosphotriesterases with enhanced and/or altered substrate specificity for organophosphate compounds.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C12N009-14.; Secondary IPC: A01H005-00; B09C001-10; B09C101-00; C12Q001-34., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, L(TRUNCATED).

Horne, I., Sutherland, T.D., Harcourt, R.L., Russell, R.J. & Oakeshott, J.G. 2002, "Identification of an opd (organophosphate degradation) gene in an *Agrobacterium* isolate.", *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 68, no. 7, pp. 3371-3376.

Horne, I., Sutherland, T., Harcourt, R., Russell, R. & Oakeshott, J. 2002, *Cloning, specificity, mutagenesis and sequence of organophosphate phosphotriesterase from *Agrobacterium radiobacter* P230 and its uses in bioremediation.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C12N009-14.; Secondary IPC: C07K014-195., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L(TRUNCATED).

Hua, I., Hochemer, R.H. & Hoffmann, M.R. 1995, "Sonochemical degradation of p-nitrophenol in a parallel-plate near-field acoustical processor.", *Environmental Science and Technology*, vol. 29, no. 11, pp. 2790-2796.

Huang, J.P. & Mabury, S.A. 2000, "Hydrolysis kinetics of fenthion and its metabolites in buffered aqueous media", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 48, no. 6, pp. 2582-2588.

Huber, R. & Helmig, R. 1999, "Numerical modelling of multiphase-multicomponent systems in porous media.", *Scientific Computing in Chemical Engineering II: Computational Fluid Dynamics, Reaction Engineering, and Molecular Properties*, , pp. 247-254.

Huczko, A., Chojecki, G., Golimowski, J., Kowalska, J., Dziadko, D., Tanaka, H. & Ishigaki, T. 2002, "Plasma processing of incineration ashes.", *Chemia i Inzynieria Ekologiczna*, vol. 9, no. 1, pp. 9-20.

Hung, S.T. & Mak, M.K.S. 1993, "Titanium dioxide photocatalyzed degradation of organophosphate in a system simulating the natural aquatic environment.", *Environmental technology*, vol. 14, no. 3, pp. 265-269.

- Jackson, K., Harmon, T.C., Aycaguer, A., Hosseini, M.S. & Boyd, W.D. 1997, "In situ thermal desorption of PAHs from soils using natural gas combustion.", *Gas, Oil, and Environmental Biotechnology and Site Remediation Technologies, International IGT Symposium -- 10th, Orlando, Fla., Dec.8-10, 1997*, , pp. XXIX/1-XXIX/18.
- Jackson, R.E., Mutch, J.P. & Priddle, M.W. 1990, "Persistence of Aldicarb residues in the sandstone aquifer of Prince Edward Island, Canada.", *Journal of contaminant hydrology*, vol. 6, no. 1, pp. 21-35.
- Jans, U. & Miah, M.H. 2003, "Reaction of chlorpyrifos-methyl in aqueous hydrogen sulfide/bisulfide solutions", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 51, no. 7, pp. 1956-1960.
- Jeffries, S.R., Adams, D., Robinson, J. & Zelina, I. 1999, "Case studies in the application of risk assessment techniques for contaminated site characterization and remediation in Western Australia.", *Contaminated Site Remediation: Challenges Posed by Urban and Industrial Contaminants, Proceedings of the Contaminated Site Remediation Conference, Fremantle, Australia, Mar.21-25, 1999*, , pp. 823-830.
- Jepsen, J.D., Jorgensen, T., Skov, H. & Fuglsang, I.A. 2002, "Thermal-enhanced SVE of PCE under a dry cleaning establishment - a case study.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2002, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 3rd, Monterey, CA, United States, May 20-23, 2002*, , pp. 1776-1783.
- Johnson, E. & Anderson, K.A. 2001, "Bioavailable organochlorine pesticides in water and sediments in a semi-arid region of Eastern Oregon, USA.", *Preprints of Extended Abstracts presented at the ACS National Meeting, American Chemical Society, Division of Environmental Chemistry*, vol. 41, no. 1, pp. 316-317.
- Johnson, M.A. & Dirgo, J.A. 1994, "SITE demonstration of the SoilTech anaerobic thermal processor at the Waukegan Harbor Superfund site.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 87th, no. Vol. 14B, Contaminated Site Remediation Technologies, pp. 16 pp. Paper 94-FA155.03.
- Jones, A.S., Hastings, F.L. & Kislow, C.J. 1980, "Evaluation of 12 insecticides for remedial efficacy against southern pine beetle adults.", *Journal of economic entomology*, vol. 73, no. 5, pp. 736-738.
- Juhasz, A.L., Smith, E., Smith, J. & Naidu, R. 2003, "Development of a Two-Phase Cosolvent Washing-Fungal Biosorption Process for the Remediation of DDT-Contaminated Soil.", *Water, air, and soil pollution*, vol. 146, no. 1-4, pp. 111-126.
- Juhasz, A.L., Smith, E., Smith, J. & Naidu, R. 2003, "In situ Remediation of DDT-contaminated Soil Using a Two-Phase Cosolvent Flushing-Fungal Biosorption Process.", *Water, air, and soil pollution*, vol. 147, no. 1-4, pp. 263-274.
- Juhasz, A.L., Smith, E., Smith, J. & Naidu, R. 2003, "Remediation of Persistent Organic Pollutants Using a Novel Two-Phase Soil Washing

Biosorption Process.", *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, vol. 3, no. 3, pp. 233-242.

Juhlin, R., Butherus, M., Daniel, J., Ingle, D.S., Heron, G. & McGee, B. 2004, "Successful field-scale in situ thermal NAPL remediation at the Young-Rainey STAR Center.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 2B.01/1-2B.01/8.

Kadiyala, V., Smets, B.F., Chandran, K. & Spain, J.C. 1998, "High affinity p-nitrophenol oxidation by *Bacillus sphaericus* JS905.", *FEMS microbiology letters*, vol. 166, no. 1, pp. 115-120.

Kamagata, Y., Kimura, N. & Kitagawa, W. 2005, *Screening and recombinant preparation methods of 4-nitrophenol-degradating enzymes for environmental remediation.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: C12N015-09.; Secondary IPC: B09C001-02; B09C001-08; C02F001-00; C12N001-15; C12N001-19; C12N001-21; C12N005-10; C12N009-02; C12Q001-68., Patent Application Country: Application: JP; Patent Country: JP.

Kambourova, V., Manova, J. & Bratanova, Z. 2005, "Environmental pollution with organochlorine pesticides by small scale incidents.", *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 14, no. 3, pp. 181-184.

Kantachote, D., Singleton, I., Naidu, R., McClure, N. & Megharaj, M. 2004, "Sodium Application Enhances DDT Transformation in a Long-Term Contaminated Soil.", *Water, air, and soil pollution*, vol. 154, no. 1-4, pp. 115-125.

Kao, C.M. & Wu, M.J. 2000, "Enhanced TCDD degradation by Fenton's reagent preoxidation.", *Journal of hazardous materials*, vol. 74, no. 3, pp. 197-211.

Kasai, E., Harjanto, S., Terui, T., Nakamura, T. & Waseda, Y. 2000, "Thermal remediation of PCDD/Fs contaminated soil by zone combustion process.", *Chemosphere*, vol. 41, no. 6, pp. 857-864.

Kasevich, R.S., Price, S.L. & Faust, D.L. 1996, "Remediation of chlorinated hydrocarbons in vadose clay by radio frequency heating at Department of Energy's Savannah River Site.", *Contaminated Soils*, vol. 1, pp. 11-15.

Kasevich, R.S., Price, S.L., Marley, M.C. & Faust, D.L. 1996, "Thermal enhancement for site remediation using radio frequency heating (RFH).", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 89th, pp. ra121a03/1-ra121a03/14.

Kashiwagi, Y. 2002, *Polluted soil remediation method and facility for removing organic halides.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: B09C001-06.; Secondary IPC: A62D003-00; B01D053-68; B07B001-22; B09B003-00; C07B035-06; C07B037-06; C07D319-24; F02C006-18., Patent Application Country: Application: JP; Patent Country: JP.

Kaslusky, S.F. & Udell, K.S. 2005, "Co-injection of air and steam for the prevention of the downward migration of DNAPLs during steam enhanced extraction: An experimental evaluation of optimum injection ratio predictions", *Journal of contaminant hydrology*, vol. 77, no. 4, pp. 325-347.

- Kastanek, F. & Kastanek, P. 2005, "Combined decontamination processes for wastes containing PCBs.", *Journal of hazardous materials*, vol. 117, no. 2-3, pp. 185-205.
- Kaur, I., Mathur, R.P., Tandon, S.N. & Dureja, P. 1997, "Identification of metabolites of malathion in plant, water and soil by GC-MS.", *Biomedical Chromatography*, vol. 11, no. 6, pp. 352-355.
- Kawala, Z. & Atamanczuk, T. 1998, "Microwave-Enhanced Thermal Decontamination of Soil.", *Environmental Science and Technology*, vol. 32, no. 17, pp. 2602-2607.
- Kenna, B.T., Conboy, D., Leithner, J., Averett, D. & Yaksich, S. 1996, "Pilot-scale demonstrations of thermal desorption for the treatment of contaminated river sediments.", *Hazardous and Industrial Wastes*, vol. 28th, pp. 299-308.
- Kepp, U., Machenbach, I., Weisz, N. & Solheim, O.E. 2000, "Enhanced stabilisation of sewage sludge through thermal hydrolysis - three years of experience with full scale plant.", *Water Science and Technology*, vol. 42, no. 9, pp. 89-96.
- Keum, Y. & Li, Q.X. 2003, "Reduction of nitroaromatic pesticides with zero-valent iron.", *Chemosphere*, vol. 54, no. 3, pp. 255-263.
- Khandaker, N.R. & Young, J.C. 2000, "Effect of culture acclimation on the kinetics of aldicarb insecticide degradation under methanogenic conditions", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 48, no. 4, pp. 1411-1416.
- KIRK, P.W.W., LESTER, J.N. & PERRY, R. 1983, "Amenability of Nitrotriacetic Acid to Biodegradation in a Marine Simulation", *Marine pollution bulletin*, vol. 14, no. 3, pp. 88-93.
- Kishk, F.M., El-Essawi, T., Abdel-Ghafar, S. & Abou-Donia, M.B. 1976, "Hydrolysis of methylparathion in soils.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 24, no. 2, pp. 305-307.
- Kislow, C.J., Jones, A.S. & Hastings, F.L. 1979, "Screening modern insecticides for control of black turpentine beetles and Ips species.", *Proceedings - Annual Lightwood Research Conference*, vol. 6, pp. 65-68.
- Klausen, J., Troeber, S.P., Haderlein, S.B. & Schwarzenbach, R.P. 1995, "Reduction of Substituted Nitrobenzenes by Fe(II) in Aqueous Mineral Suspensions.", *Environmental Science and Technology*, vol. 29, no. 9, pp. 2396-2404.
- Klavins, M. & Biksons, I. 1994, "Catalytic activity of humic substances in hydrolysis reactions.", *Latvijas Kimijas Zurnals*, , no. 2, pp. 242-245.
- Kling, T., Korkealaakso, J. & Saarenpaa, J. 2004, "Application of nonisothermal multiphase modeling to in situ soil remediation in Soederkulla.", *Vadose Zone Journal*, vol. 3, no. 3, pp. 901-908.
- Kodukula, P.S. & Reifschneider, C.A. 1992, "Comparison of GAC adsorption, UV/oxidation and air stripping for remediation of contaminated groundwater.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 85th, no. Vol. 8, pp. Paper No. 92/26.07, 27.

Kokkalis, E., Kouimtzis, T., Samara, C. & Anastopoulos, A. 2003, "Removal of PCBs from polluted and spiked soils and sediments using surfactants.", *Proceedings of the International Conference on Environmental Science and Technology, 8th, Myrina, Lemnos Island, Greece, Sept.8-10, 2003*, , pp. B416-B421.

Koning, M., Luth, J.-., Reifenhohl, R., Hintze, H., Feitkenhauer, H. & Stegmann, R. 1999, "Combined chemical and biological treatment of mixed contaminated soils in slurry reactors.", *International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, 5th, San Diego, Apr.19-22, 1999*, vol. 5, pp. 25-30.

Konrad, J.G., Chesters, G. & Armstrong, D.E. 1969, "Soil degradation of malathion, a phosphorodithioate insecticide.", *Soil Science Society of America Proceedings*, vol. 33, no. 2, pp. 259-262.

Koos, J. 1996, "Successful remediation of a vapor phase mercury-contaminated residence.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 89th, pp. wp8501/1-wp8501/10.

Kopinke, F.- & Mackenzie, K. 1998, *Studies of the sorption and desorption behavior of hydrophobic compounds on particulate humic substances*.

Koppe, S. & Prantner, J. 1998, "Groundwater purification for remediation of DDT and chlorinated hydrocarbon damage in an industrial site in northern Italy.", *TerraTech*, vol. 7, no. 6, pp. 62-63.

Koran, K.M., Suidan, M.T., Khodadoust, A.P., Sorial, G.A. & Brenner, R.C. 2001, "Effectiveness of an anaerobic granular activated carbon fluidized-bed bioreactor to treat soil wash fluids: a proposed strategy for remediating PCP/PAH contaminated soils.", *Water research*, vol. 35, no. 10, pp. 2363-2370.

Korell, J., Andersson, S., Bolin, P., Seifert, H. & Paur, H. 2003, "Mercury removal by the MercOx process at a thermal soil remediation plant.", *Wissenschaftliche Berichte - Forschungszentrum Karlsruhe*, , no. FZKA 6943, Consoil 2003, pp. 2431-2433.

Kosegi, J.M., Minsker, B.S. & Dougherty, D.E. 1997, "Thermally-enhanced in situ bioremediation of DNAPL's.", *In Situ and On-Site Bioremediation, Papers from the International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, 4th, New Orleans, Apr.28-May 1, 1997*, vol. 4, pp. 135-140.

Koustas, R.N. & Fischer, D. 1998, "Review of separation technologies for treating pesticide-contaminated soil", *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 48, no. 5, pp. 434-440.

Koyama, K., Marumoto, S., Toda, N., Kogen, H. & Suzuki, K. 2002, *Preparation of alkylcarbamic acid esters as acetylcholinesterase inhibitor and serotonin reuptake inhibitor.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07C219-22.; Secondary IPC: C07C271-44; C07C321-28; C07C333-04; C07D317-58; C07D317-64; C07D213-64; C07D213-63; C07D333-32; C07D333-40; C07D215-20; C07D209-44; C07D217-14; C07D217-16; C07D223-16; A61K031-27; A61K031-36; A61K031-4402; A(TRUNCATED), PCT Designated States: Designated States W: AU, BR, CA, CN, CO, CZ, HU, ID, IL, IN, KR, MX, NO, NZ, PH, PL, RU, SG, SK, US, VN, ZA.; PCT Reg. Des. States: Designated States RW: AT, BE,

CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
(TRUNCATED).

Krabill, R.H. & Shippy, J.L., III 1996, "Thermal desorption treatability studies on selected mercury- and PCB-contaminated mixed waste.", *Proceedings of the International Topical Meeting on Nuclear and Hazardous Waste Management, SPECTRUM '96, 6th, Seattle, Aug.18-23, 1996*, vol. 1, pp. 319-326.

Kubo, M. & Hasumi, F. 1998, "A novel use of biomass resources - environmental clean up with plant proteins and microorganisms -.", *Recent Research Developments in Agricultural & Biological Chemistry*, vol. 2, no. Pt. 2, pp. 455-465.

Kucharski, R., Zielonka, U., Sas-Nowosielska, A., Kuperberg, J.M., Worsztynowicz, A. & Szdzuj, J. 2005, "A method of mercury removal from topsoil using low-thermal application.", *Environmental monitoring and assessment*, vol. 104, no. 1-3, pp. 341-351.

Kuhlman, M.I. 2002, "Analysis of the steam injection at the Visalia Superfund Project with fully compositional nonisothermal finite difference simulations.", *Journal of hazardous materials*, vol. 92, no. 1, pp. 1-19.

Kuhn, E.P. & Suflita, J.M. 1989, "Sequential reductive dehalogenation of chloroanilines by microorganisms from a methanogenic aquifer.", *Environmental Science and Technology*, vol. 23, no. 7, pp. 848-852.

Kunkel, A.M., Seibert, J.J., Elliott, L.J., Kelley, R.L., Katz, L.E. & Pope, G.A. 2004, "Remediation of elemental mercury using in situ thermal desorption (ISTD).", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds-2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 4C.07/1-4C.07/8.

Kurasawa, O., Imamura, S., Hashiguchi, S., Nishimura, O., Kanzaki, N. & Baba, M. 2001, *N-[3-(4-benzylpiperidin-1-yl)propyl]urea compounds, process for producing the same and use thereof for anti-AIDS drugs.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D211-14.; Secondary IPC: C07D211-18; A61K031-445; A61P043-00; A61P031-18., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CN, CR, CU, CZ, DM, DZ, EE, GD, GE, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LT, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, RU, SG, SI, S(TRUNCATED).

Kwon, S.P., Chung, Y., Yang, J.M., Kim, M.H., Ahn, D.K. & Won, C.O. 1976, "Persistent chemicals in birds and herbs in Korea.", *Yonsei medical journal*, vol. 17, no. 1, pp. 21-29.

Lagadec, A.J.M., Miller, D.J., Lilke, A.V. & Hawthorne, S.B. 2000, "Pilot-scale subcritical water remediation of polycyclic aromatic hydrocarbon- and pesticide-contaminated soil", *Environmental science & technology*, vol. 34, no. 8, pp. 1542-1548.

Laha, S. & Petrova, K.P. 1997, "Biodegradation of 4-nitrophenol by indigenous microbial populations in Everglades soils", *Biodegradation*, vol. 8, no. 5, pp. 349-356.

- Laha, S. & Petrova, K.P. 1998, "Biodegradation of 4-nitrophenol by indigenous microbial populations in Everglades soils.", *Biodegradation*, vol. 8, no. 5, pp. 349-356.
- Lai, Y. & Lin, S. 2004, "Application of immobilized horseradish peroxidase for the removal of p-chlorophenol from aqueous solution.", *Process Biochemistry (Oxford, United Kingdom)*, vol. 40, no. 3-4, pp. 1167-1174.
- Laine, M.M. & Joergensen, K.S. 1996, "Straw compost and bioremediated soil as inocula for the bioremediation of chlorophenol-contaminated soil.", *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 62, no. 5, pp. 1507-1513.
- LAL, R. 1982, "Accumulation, Metabolism, and Effects of Organo-Phosphorus Insecticides on Microorganisms", *Advances in Applied Microbiology*, vol. 28, pp. 149-200.
- Lan, K. 2002, *Pesticide-degrading bacterial preparation and its production.*, Patent Kind Code: A edn, Main IPC: C12N001-20.; Secondary IPC: A62D003-00., Patent Application Country: Application: CN; Patent Country: CN.
- LANDYMORE, A.F. & ANTIA, N.J. 1978, "White-Light Promoted Degradation of Leucopterin and Related Pteridines Dissolved in Seawater, with Evidence for Involvement of Complexation from Major Divalent-Cations of Seawater", *Marine Chemistry*, vol. 6, no. 4, pp. 309-325.
- Lane, G.M. 1999, "Use of specific microwave frequencies to thermally enhance soil-vapor extraction remediation.", , pp. IEC.
- Lane, G.M.J. 1997, "The use of variable frequency microwave (VFM) to thermally enhance soil vapor extraction (SVE) remediation.", , pp. ENVR.
- Lantos, J., Brinkman, U.A.T. & Frei, R.W. 1984, "Residue analysis of methoxuron and its breakdown product (3-chloro-4-methoxyaniline) by thin-layer and high-performance liquid chromatography with fluorescence detection.", *Journal of chromatography*, vol. 292, no. 1, pp. 117-127.
- LAPLANCHE, A., BOUVET, M., VENIEN, F., MARTIN, G. & CHABROLLES, A. 1981, "Modeling Parathion Changes in the Natural-Environment Laboratory Experiment", *Water research*, vol. 15, no. 5, pp. 599-607.
- Larson, R.A., Stackhouse, P.L. & Crowley, T.O. 1992, "Riboflavin tetraacetate: a potentially useful photosensitizing agent for the treatment of contaminated waters.", *Environmental Science and Technology*, vol. 26, no. 9, pp. 1792-1798.
- LARTIGES, S.B. & GARRIGUES, P.P. 1995, "Degradation Kinetics of Organophosphorus and Organonitrogen Pesticides in Different Waters Under various Environmental-Conditions", *Environmental science & technology*, vol. 29, no. 5, pp. 1246-1254.
- Lauer, U., Le Dren, I. & Bongartz, A. 2002, *Procedure for the decontamination of soils and waters.*, Patent Kind Code: C1 edn, Main IPC: B09C001-10.; Secondary IPC: A62D003-00; C02F003-02; C12Q001-26., Patent Application Country: Application: DE; Patent Country: DE.

- Lear, P.R. 2000, "Stabilization of organic contaminants in soils and sludges.", *Proceedings of the Air & Waste Management Association's Annual Conference & Exhibition, 93rd, Salt Lake City, UT, United States, June 18-22, 2000*, , pp. 6734-6746.
- Lear, P.R. & Laski, M. 1994, "Treatability testing for base catalyzed decomposition of PCBs.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 87th, no. Vol. 13, Hazardous Waste Management & Control, pp. 11 pp 94-WP84B.04.
- Lee, M.D., Butler, W.A., Mistretta, T.F., Zankos, I.J. & Perkins, R.E. 1994, "Biological treatability studies on surface impoundment sludge from a chemical manufacturing facility.", *Bioremediation Chlorinated Polycyclic Aromat.Hydrocarbon Compd*, , pp. 129-143.
- Leenheer, J.A., Hsu, J. & Barber, L.B. 2001, "Transport and fate of organic wastes in groundwater at the Stringfellow hazardous waste disposal site, southern California", *Journal of contaminant hydrology*, vol. 51, no. 3-4, pp. 163-178.
- Leif, R.N., Chiarappa, M., Aines, R.D., Newmark, R.L., Knauss, K.G. & Eaker, C. 1998, "In situ hydrothermal oxidative destruction of DNAPLs in a creosote contaminated site.", *Physical, Chemical, and Thermal Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 1st, Monterey, Calif., May 18-21, 1998*, , pp. 133-138.
- Leif, R.N., Knauss, K.G., Newmark, R.L., Aines, R.D. & Eaker, C. 2002, *Increasing subterranean mobilization of organic contaminants and petroleum by aqueous thermal oxidation.*, Patent Kind Code: B1 edn, Main IPC: C02F001-72., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US.
- Li, H., Lee, L.S., Jafvert, C.T. & Graveel, J.G. 2000, "Effect of Substitution on Irreversible Binding and Transformation of Aromatic Amines with Soils in Aqueous Systems.", *Environmental Science and Technology*, vol. 34, no. 17, pp. 3674-3680.
- LI, Q.X., ZHAO, M.S., GEE, S.J., KURTH, M.J., SEIBER, J.N. & HAMMOCK, B.D. 1991, "Development of Enzyme-Linked Immunosorbent Assays for 4-Nitrophenol and Substituted 4-Nitrophenols", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 39, no. 9, pp. 1685-1692.
- Lichtenstein, E.P. & Schulz, K.R. 1964, "The effects of moisture and microorganisms on the persistence and metabolism of some organophosphorus insecticides in soils, with special emphasis on parathion.", *Journal of economic entomology*, vol. 57, no. 5, pp. 618-627.
- Lima, S.A.C., Raposo, M.F.J., Castro, P.M.L. & Morais, R.M. 2003, "Biodegradation of p-chlorophenol by a microalgae consortium.", *Water research*, vol. 38, no. 1, pp. 97-102.
- Lindsey, W.B. 1994, "New and innovative methods for characterization and remediation of manufactured gas plant sites.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 87th, no. Vol. 13, Hazardous Waste Management & Control, pp. 16 pp 94-TP62.03.

- Lipczynska-Kochany, E., Sprah, G. & Harms, S. 1995, "Influence of some groundwater and surface waters constituents on the degradation of 4-chlorophenol by the Fenton reaction.", *Chemosphere*, vol. 30, no. 1, pp. 9-20.
- Liu, J., Song, H., Weng, L. & Ji, L. 2002, "Increased thermostability and phenol removal efficiency by chemical modified horseradish peroxidase.", *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, vol. 18, no. 4-6, pp. 225-232.
- Liu, M.H., Kapila, S., Yanders, A.F., Clevenger, T.E. & Elsewi, A.A. 1991, "Role of entrainers in supercritical fluid extraction of chlorinated aromatics from soils.", *Chemosphere*, vol. 23, no. 8-10, pp. 1085-1095.
- Lodolo, A., Gonzalez-Valencia, E. & Miertus, S. 2001, "Overview of remediation technologies for persistent toxic substances", *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, vol. 52, no. 2, pp. 253-280.
- Loh, K. & Wang, S. 1998, "Enhancement of biodegradation of phenol and a nongrowth substrate 4-chlorophenol by medium augmentation with conventional carbon sources.", *Biodegradation*, vol. 8, no. 5, pp. 329-338.
- Long, S.M. & Holdway, D.A. 2002, "Acute toxicity of crude and dispersed oil to *Octopus pallidus* (Hoyle, 1885) hatchlings.", *Water research*, vol. 36, no. 11, pp. 2769-2776.
- Lu, G., Wang, C., Yuan, X. & Zhao, Y. 2003, "QSBR study of substituted phenols and benzoic acids.", *Journal of Environmental Sciences (China)*, vol. 15, no. 1, pp. 88-91.
- Lu, M. 1999, "Oxidation of chlorophenols with hydrogen peroxide in the presence of goethite.", *Chemosphere*, vol. 40, no. 2, pp. 125-130.
- Luthy, R.G. & Ghosh, U. 2003, *In situ stabilization of persistent hydrophobic organic contaminants in sediments using coal-and wood derived carbon sorbents.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: E21B001-00., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US; Priority Application Country: US.
- Lynd, J.Q. & Ansman, T.R. 1993, "Symbiotic tripartite nitrogen fixation effectual in eroded soil restoration with 20 year-age *Sericea lespedeza*.", *Journal of Plant Nutrition*, vol. 16, no. 1, pp. 149-164.
- MACALADY, D.L. & WOLFE, N.L. 1983, "New Perspectives on the Hydrolytic Degradation of the Organophosphorothioate Insecticide Chlorpyrifos", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 31, no. 6, pp. 1139-1147.
- Macalady, D.L. & Wolfe, N.L. 1985, "Effects of sediment sorption on abiotic hydrolyses. 1. Organophosphorothioate esters.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 33, no. 2, pp. 167-173.
- Magie, R.O. 1950, "Fusarium - No. 1 killer of glads.", *Florists Exchange, Hort. Trade World*, vol. 114, no. No. 20, pp. 14-15,38.
- Mahmoud, M.E., Soayed, A.A. & Hafez, O.F. 2003, "Selective Solid Phase Extraction and Pre-Concentration of Heavy Metals from Seawater by Physically and Chemically Immobilized 4-Amino-3-Hydroxy-2-(2-

Chlorobenzene)-Azo-1-Naphthalene Sulfonic Acid Silica Gel.", *Microchimica Acta*, vol. 143, no. 1, pp. 65-70.

Mahoney, L.A., Petroff, D.M. & Batey, J.C. 1996, "Using modeled ecological risks as a basis for site cleanup levels.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 89th, pp. ra11104/1-ra11104/16.

Majorowicz, H., Urbanek, H., Wielanek, M. & Zalewski, M. 2003, "Potential of *Phalaris arundinacea* L. for phytoremediation.", *Biotechnologia*, , no. 4, pp. 160-166.

Manni, A., Massacci, P., Piga, L. & Serranti, S. 2004, "Screening and thermal desorption for remediation of a sediment polluted by the mercury of a chlor-alkali plant.", *Soil & Sediment Contamination*, vol. 13, no. 4, pp. 391-404.

Margesin, R. & Schinner, F. 2001, "Biodegradation and bioremediation of hydrocarbons in extreme environments.", *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 56, no. 5-6, pp. 650-663.

Margesin, R., Bergauer, P. & Gander, S. 2004, "Degradation of phenol and toxicity of phenolic compounds: a comparison of cold-tolerant *Arthrobacter* sp. and mesophilic *Pseudomonas putida*.", *Extremophiles*, vol. 8, no. 3, pp. 201-207.

Markowitz, M.A., Burleigh, M.C. & Gaber, B.P. 2003, *Reusable polysilsesquioxane adsorbents for pollutants.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C02F001-28., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US.

Martens, D., Balta-Brouma, K., Brotsack, R., Michalke, B., Schramel, P., Klimm, C., Henkelmann, B., Oxyinos, K., Schramm, K.-., Diamadopoulos, E. & Kettrup, A. 1998, "Chemical impact of uncontrolled solid waste combustion to the vicinity of the Kouroupitos Ravine, Crete, Greece.", *Chemosphere*, vol. 36, no. 14, pp. 2855-2866.

Martinez Tabche, L., Galar Martinez, M., Olvera Hernandez, E., Chehue Romero, A., Lopez Lopez, E. & Proal Najera, J.B. 2001, "Malathion uptake in artificial sediments and its toxic effects on *Limnodrilus hoffmeisteri*.", *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, vol. 17, no. 3, pp. 137-146.

Martini, D.R., Knight, M.J., Lytwyn, A. & Kilby, J.L. 1995, "Case history: Groundwater remediation using sequencing batch reactors. Removal of volatile and semivolatile compounds at a Superfund site in northwest Indiana.", *Proceedings of the Industrial Waste Conference*, vol. 49TH, pp. 135-148.

Marty, G.D., Wetzlich, S., Nunez, J.M., Craigmill, A. & Hinton, D.E. 1991, "Fish-based biomonitoring to determine toxic characteristics of complex chemical mixtures: documentation of bioremediation at a pesticide disposal site.", *Aquatic Toxicology*, vol. 19, no. 4, pp. 329-340.

Marty, J.L., Khafif, T., Vega, D. & Bastide, J. 1986, "Degradation of phenyl carbamate herbicides by *Pseudomonas alcaligenes* isolated from soil.", *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 18, no. 6, pp. 649-653.

Matin, M.A., Malek, M.A., Amin, M.R., Rahman, S., Khatoon, J., Rahman, M., Aminuddin, M. & Mian, A.J. 1998, "Organochlorine insecticide residues in surface and underground water from different regions of Bangladesh.", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 69, no. 1, pp. 11-15.

Matsuura, F., Emori, E., Shinoda, M., Clark, R., Kasai, S., Yoshitomi, H., Yamazaki, K., Inoue, T., Miyashita, S. & Hihara, T. 2002, *Preparation of heterocyclecarboxylic acid, benzoic acid, and phenylalkanoic acid derivatives as agonists of peroxisome proliferator-activated receptors (PPAR)*., Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07C233-87.; Secondary IPC: C07C235-52; C07C271-22; C07C271-28; C07D213-55; C07D213-64; C07D213-79; C07D213-80; C07D261-18; C07D277-56; C07D307-68; C07D307-79; C07D333-40; C07D417-04; C07D417-12; A61K031-192; A61K031-194; A61K031-195; (TRUNCATED), PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L (TRUNCATED).

Matsuyama, A. & Akagi, H. 2000, "Fundamental study of remediation technology for mercury contaminated soil by low temperature thermal treatment using iron sulfide.", *Mizu Kankyo Gakkaishi*, vol. 23, no. 10, pp. 638-642.

Matsuyama, A., Okada, K. & Akagi, H. 1999, "Fundamental study of remediation technology for mercury-contaminated soils by low temperature thermal treatment.", *Mizu Kankyo Gakkaishi*, vol. 22, no. 2, pp. 109-117.

Maxymillian, N.A., Warren, S.A. & Neuhauser, E.F. 1994, "Thermal desorption of coal tar contaminated soils from manufactured gas plants.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 87th, no. Vol. 14B, Contaminated Site Remediation Technologies, pp. 16 pp. Paper 94-FA155.04.

McArdle, B. 2001, *Use of protein-polysaccharide complex in removal of contaminants*., Patent Kind Code: B1 edn, Main IPC: B01D015-00., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US; Priority Application Country: US.

McCann, K.G., Moomey, C.M., Runkle, K.D., Hryhorczuk, D.O., Clark, J.M. & Barr, D.B. 2002, "Chicago area methyl parathion response", *Environmental health perspectives*, vol. 110 Suppl 6, pp. 1075-1078.

McGuire, D. 2005, *Modular wastewater remediation system and method of using*., Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: B01D017-06., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, L (TRUNCATED).

MCINTYRE, A.E., LESTER, J.N. & PERRY, R. 1981, "Persistence of Organo-Phosphorus Insecticides in Sewage Sludges", *Environmental Technology Letters*, vol. 2, no. 3, pp. 111-118.

MEALLIER, P., NURY, J., POUYET, B., COSTE, C. & BASTIDE, J. 1977, "Photodegradation of Molecules of Pesticides .2. Kinetics and

Mechanism of Parathion Photodegradation", *Chemosphere*, vol. 6, no. 12, pp. 815-820.

Medeiros, W.H., Duh, D., Ali, M. & Penny, G. 1998, "Peconic River investigation at Brookhaven National Laboratory.", *WM'98 Proceedings, Tucson, AZ, United States, Mar. 1-5, 1998*, , pp. 541-549.

Melin, E.S., Puhakka, J.A. & Shieh, W.K. 1993, "Degradation of 4-chlorophenol in denitrifying fluidized-bed process.", *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Environmental Science and Engineering*, vol. a28, no. 8, pp. 1801-1811.

Mercer, J.W., Adeel, Z. & Faust, C.R. 1996, "A review of NAPL modeling approaches for remediation.", *Non-Aqueous Phase Liquids (NAPLs) in Subsurface Environment: Assessment and Remediation, Proceedings of the Specialty Conference, Washington, D.C., Nov. 12-14, 1996*, , pp. 46-65.

Miglioranza, K.S.B., de Moreno, J.E.A. & Moreno, V.J. 2004, "Organochlorine pesticides sequestered in the aquatic macrophyte *Schoenoplectus californicus* (C.A. Meyer) Sojak from a shallow lake in Argentina.", *Water research*, vol. 38, no. 7, pp. 1765-1772.

Militerno, S., Campanella, L. & Crescentini, G. 1993, "Photocatalytic degradation of selected chlorophenols and pesticides by immobilized polyaniline and TiO₂.", *Mobility Degrad. Xenobiot., Proc. - Simp. Pestic. Chem., 9th*, , pp. 431-440.

Miller, D.J. 1994, "Remediation of a central Arizona pesticide applicators airstrip with thermal desorption techniques.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 87th, no. Vol. 14B, Contaminated Site Remediation Technologies, pp. 15 pp. Paper 94-FA155.06.

Minden, A.C., Bartz, D.F., Plaehn, W.A., Shangraw, T., Murphy, M., Tagawa, L.T. & Bollmann, D. 2002, "Flameless oxidizer treats variable concentration VOCs in thermally enhanced remediation project.", *Contaminated Soil Sediment & Water*, , no. May, pp. 45-49.

Mohan, R.K., D'Hollander, R.D., Johnson, A.N., Brozowski, P.S., D'Ambrossio, K.T. & Jerome, J. 1999, "Remediation of contaminated marine sediments by in-place containment: a case study of Rahway River, New Jersey.", *Journal of Marine Environmental Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 1-34.

Moos, L., Swale, R., Lynch, P., Murray, R., LaMori, P. & Siatro, C. 1999, "Optimization of the soil mixing/thermally enhanced soil vapor extraction process by zero-valent iron addition.", *WM 99 Proceedings, Tucson, AZ, United States, Feb. 28-Mar. 4, 1999*, , pp. 1140-1154.

Morrill, P.J., Leslie, J.C., Trute, M.M. & Evans, P.J. 2001, "Suitability of bioremediation at a former solvent recycling site.", *International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, 6th, San Diego, CA, United States, June 4-7, 2001*, vol. 2, pp. 113-120.

Morris, M.I. & Shealy, S.E. 1995, "Treatment of Y-12 storm sewer sediments and DARA soils by thermal desorption.", *Mixed Waste, Proceedings of the Biennial Symposium, 3rd, Baltimore, Aug. 7-10, 1995*, , pp. 10.3.1-10.3.14.

Muller, R.H., Muller, R.A., Jahn, Y. & Babel, W. 1999, "A biotechnological approach of detoxifying herbicide-contaminated building rubble.", *International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, 5th, San Diego, Apr.19-22, 1999*, vol. 7, pp. 143-148.

Munfah, A.A. & Aiken, S.C. 1996, "A success story - Superfund site cleanup the Bofors-Nobel, Muskegon, Michigan experience.", *Proceedings - WEFTEC '96, Annual Conference & Exposition, 69th, Dallas, Oct.5-9, 1996*, vol. 3, pp. 305-314.

Nagasawa, M., Sato, K., Kurimoto, T. & Ueki, S. 1998, *Preparation and formulation of benzoylaminothiazole derivatives for improving digestive tract motion.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D277-46.; Secondary IPC: C07D277-56; C07D417-12; A61K031-425., PCT Designated States: Designated States W: AU, CA, CN, JP, KR, US.; PCT Reg. Des. States: Designated States RW: AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE.; Patent Application Country: Application: WO; Patent Country: WO(TRUNCATED).

Nagata, Y., Nakagawa, M., Okuno, H., Mizukoshi, Y., Yim, B. & Maeda, Y. 2000, "Sonochemical degradation of chlorophenols in water.", *Ultrasonics sonochemistry*, vol. 7, no. 3, pp. 115-120.

Nakamura, M., Kamahori, T., Ishibuchi, S., Naka, Y., Sumichika, H. & Itoh, K. 2002, *Preparation of 1,2,3,4-tetrahydronaphthalenecarboxamide, 1,2,3,4-tetrahydroquinolinecarboxamide, indanecarboxamides, thiochromancarboxamide, and chromancarboxamide derivatives as C5a receptor antagonists and medicinal use thereof.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07C233-59.; Secondary IPC: C07C233-60; C07C233-62; C07C235-82; C07C255-29; C07C255-60; C07C317-32; C07C321-28; C07D295-182; C07D309-12; C07D335-06; C07D215-227; C07D317-58; C07D231-12; C07D213-40; C07D213-74; C07D213-65; C07D213-64; C(TRUNCATED), PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, L(TRUNCATED).

Nakamura, T., Senior, C.L., Burns, E.G. & Bell, M.D. 2000, "Solar-powered soil vapor extraction for removal of dense nonaqueous phase organics from soil.", *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, vol. A35, no. 6, pp. 795-816.

Nelson, L.M. 1982, "Biologically-induced hydrolysis of parathion in soil: isolation of hydrolyzing bacteria.", *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 14, no. 3, pp. 219-222.

Newman, B., Martinson, M., Smith, G. & McCain, L. 1993, "Enhanced biodegradation of hydrocarbons in-situ via bioventing.", *Ground Water Management*, vol. 17, no. PETROLEUM HYDROCARBONS AND ORGANICS CHEMICALS IN GROUND WATER, pp. 523-538.

Newton, J.P. 2004, *Metal oxide-based catalyst composition for in-situ recovery of heavy petroleums, tar sands, and contaminated soils.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C04B028-04.; Secondary IPC: B09C001-08; C10G001-00; C10G011-08; E21B043-25; B01J027-08., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,

BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L(TRUNCATED).

Nikfarjam, S. 1999, "Demonstrated thermal desorption treatment technology experience for hazardous and non-hazardous material.", *Proceedings of the International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Orlando, Fla., May 10-14, 1999*, , pp. 747-752.

Nimmo, W.B., De Wilde, P.C. & Verloop, A. 1984, "The degradation of diflubenuron and its chief metabolites in soils. Part I: hydrolytic cleavage of diflubenuron.", *Pesticide Science*, vol. 15, no. 6, pp. 574-585.

Noblet, J.A., Smith, L.A. & Suffet, I.H. 1996, "Influence of natural dissolved organic matter, temperature, and mixing on the abiotic hydrolysis of triazine and organophosphate pesticides.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 44, no. 11, pp. 3685-3693.

Noorman, F. & Vis, P.I.M. 1995, "Successful soil purification test by Ecotechniek.", *Soil & Environment*, vol. 5, no. Contaminated Soil 95, Vol. 2, pp. 1013-1022.

Norman, T.S. 1994, "Soil and groundwater cleanup takes the gamble out of casino.", *Tailings Mine Waste 94, Proc.Int.Conf., 1st*, , pp. 79-87.

Norris, R.D. 2004, "Monitored natural attenuation for pesticide-impacted groundwater.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 4A.02/1-4A.02/8.

Novak, J.T., Young, R.G. & Forsling, S. 1993, "Bioavailability of contaminants sorbed to soil organic matter.", *Ground Water Management*, vol. 17, no. PETROLEUM HYDROCARBONS AND ORGANIC CHEMICALS IN GROUND WATER, pp. 335-349.

Novak, P.J., Daniels, L. & Parkin, G.F. 1998, "Enhanced Dechlorination of Carbon Tetrachloride and Chloroform in the Presence of Elemental Iron and *Methanosarcina barkeri*, *Methanosarcina thermophila*, or *Methanosaeta concilii*.", *Environmental Science and Technology*, vol. 32, no. 10, pp. 1438-1443.

Nowell, C.A., Panto, A.T. & Higdem, D. 1994, "Field application of anaerobic soil slurry reactor systems for degradation of nitroaromatic compounds and other herbicides and pesticides.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 87th, no. Vol. 14A, Contaminated Site Remediation Technologies, pp. 1-21, Paper 94-TP45B.04.

Nunn, G.R. 2005, *Preparation and use of soluble biogenic silica.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C01B033-12.; Secondary IPC: C01B033-141; C09K017-12; B09C001-08., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, L(TRUNCATED).

Nurzhanova, A., Kulakow, P., Turner, G., Sedlovskiy, A., Rakhimbayev, I., Zhambakin, K., Kalygin, S., Niketevich, L. & Erickson, L. 2003, "The need for remediation of pesticide-contaminated soils in Kazakhstan.", *Wissenschaftliche Berichte - Forschungszentrum Karlsruhe*, no. FZKA 6943, Consoil 2003, pp. 3651-3655.

Nuy, E.G.J. 1993, "Halocarbon-containing soil successfully thermally remediated - removal of dioxins and pesticides possible without excessive emissions.", *Polytechnisch Tijdschrift: Procestechiek*, vol. 48, no. 12, pp. 50-51.

O'Brien, J.F. & Rouleau, J.F. 1995, "Application of high temperature anaerobic thermal desorption at a CERCLA site: a case history.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 88th, no. Vol. 15, pp. 95-RP145.46.

Ogata, K., Ito, K., Ogino, S., Sakaue, T. & Iemura, M. 2002, *Preparation of 4-phenylpiperazine derivatives as pancreatitis remedies and medicines for prevention and therapy of reflux esophagitis.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D295-088.; Secondary IPC: C07D295-135; A61K031-495; A61P001-18; A61P001-04., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L(TRUNCATED).

Ogata, K., Ogino, S. & Ito, K. 2001, *Preparation of 3-(4-piperazinyl)-1-(4-aminophenoxy)propan-2-ol derivatives as pancreatitis remedies.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D213-74.; Secondary IPC: C07D295-092; C07D295-135; A61K031-495; A61K031-196; A61P001-18., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, M(TRUNCATED).

Ohashi, M., Shudo, T., Nishijima, K., Notsu, T., Kikuchi, A., Yanagibashi, K. & Nishida, H. 1997, *Preparation of pyridocarbazole derivatives having cGMP-phosphodiesterase inhibitory effect.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D471-04.; Secondary IPC: A61K031-435; A61K031-44; A61K031-495; A61K031-505., PCT Designated States: Designated States W: CA, JP, KR, US.; PCT Reg. Des. States: Designated States RW: AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE.; Patent Application Country: Application: WO; Patent Country: WO; Priori(TRUNCATED).

Ohta, T., Komoriya, S., Yoshino, T., Uoto, K., Nakamoto, Y., Naito, H., Mochizuki, A., Nagata, T., Kanno, H., Haginoya, N., Yoshikawa, K., Nagamochi, M., Kobayashi, S. & Ono, M. 2004, *Preparation of heterocyclyl moiety-containing diamine derivatives as factor Xa inhibitors.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D213-75.; Secondary IPC: C07D401-12; C07D401-14; C07D409-12; C07D413-14; C07D417-12; C07D417-14; C07D471-04; C07D487-04; C07D495-04; C07D498-04; C07D513-04; C07D513-14; C07D519-00; C07D413-12; A61K031-428; A61K031-429; A61K031-4365;(TRUNCATED), PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

Okazaki, S., Michizoe, J., Goto, M., Furusaki, S., Wariishi, H. & Tanaka, H. 2002, "Oxidation of bisphenol A catalyzed by laccase hosted in reversed micelles in organic media.", *Enzyme and microbial technology*, vol. 31, no. 3, pp. 227-232.

Oliveira, R.C.G., Oliveira, J.F. & Moudgil, B.M. 2004, "Optimizing micro-foam rheology for soil remediation.", *Progress in Colloid & Polymer Science*, vol. 128, pp. 298-302.

Oshita, T. 1999, "A chronology of Ebara's fluidized-bed technology.", *Ebara Jiho*, vol. 183, pp. 82-84.

Palmer, C.R. 1996, "Removal of mercury using the X*TRAX thermal desorption system.", *Proceedings of the International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Savannah, May 6-10, 1996*, , pp. 201-206.

Pardos, M., Benninghoff, C., de Alencastro, L.F. & Wildi, W. 2004, "The impact of a sewage treatment plant's effluent on sediment quality in a small bay in Lake Geneva (Switzerland-France). Part 1: Spatial distribution of contaminants and the potential for biological impacts.", *Lakes & Reservoirs*, vol. 9, no. 1, pp. 41-52.

Park, G., Shin, H. & Ko, S. 2005, "A laboratory and pilot study of thermally enhanced soil vapor extraction method for the removal of semi-volatile organic contaminants", *Journal of environmental science and health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering*, vol. 40, no. 4, pp. 881-897.

Park, G., Shin, H. & Ko, S. 2005, "A laboratory and pilot study of thermally enhanced soil vapor extraction method for the removal of semi-volatile organic contaminants.", *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, vol. 40, no. 4, pp. 881-897.

Park, Y.H., Yoon, J.H., Lee, S.T. & Jo, Y.G. 2000, *Novel nocardioides nitrophenolicus to dissolve para-nitrophenol and phenol simultaneously.*, Patent Kind Code: A edn, Main IPC: C12N001-20., Patent Application Country: Application: KR; Patent Country: KR.

Peill, N.J. & Hoffmann, M.R. 1997, "Solar-powered photocatalytic fiber-optic cable reactor for waste stream remediation.", *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 119, no. 3, pp. 229-236.

Peill, N.J. & Hoffmann, M.R. 1996, "Chemical and Physical Characterization of a TiO₂-Coated Fiber Optic Cable Reactor.", *Environmental Science and Technology*, vol. 30, no. 9, pp. 2806-2812.

Pensaert, S. 2003, "The remediation of the Sir John Rogerson's Quay gasworks at Dublin: a case study.", *Wissenschaftliche Berichte - Forschungszentrum Karlsruhe*, , no. FZKA 6943, Consoil 2003, pp. 1896-1905.

Peres, C.M., Russ, R., Lenke, H. & Agathos, S.N. 2001, "Biodegradation of 4-nitrobenzoate, 4-aminobenzoate and their mixtures: new strains, unusual metabolites and insights into pathway regulation.", *FEMS microbiology ecology*, vol. 37, no. 2, pp. 151-159.

- Perkins, E., Furey, J. & Davis, E. 2004, "The potential of screening for agents of toxicity using gene expression fingerprinting in *Chironomus tentans*.", *Aquatic Ecosystem Health & Management*, vol. 7, no. 3, pp. 399-405.
- Petrova, Z.M., Ostapenko, N.S. & Globus, A.M. 1990, "Salt transport through water-saturated soil.", *Pochvovedenie*, , no. 6, pp. 122-128.
- Phuong, P.K., Son, C.P.N., Sauvain, J.J. & Tarradellas, J. 1998, "Contamination by PCB's, DDT's, and heavy metals in sediments of Ho Chi Minh City's canals, Viet Nam.", *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, vol. 60, no. 3, pp. 347-354.
- Pignatello, J.J. & Cohen, S.Z. 1990, "Environmental chemistry of ethylene dibromide in soil and ground water", *Reviews of environmental contamination and toxicology*, vol. 112, pp. 1-47.
- Pillai, M.K.K., Hennessy, D.J. & Brown, A.W.A. 1963, "Deuterated analogs as remedial insecticides against DDT-resistant *Aedes aegypti*.", *Mosquito News*, vol. 23, pp. 118-125.
- Pintenich, J.L. & Loutzenhiser, D. 2003, "Superfund site remedy returns recreational park to community.", *WEFTEC.03, Conference Proceedings, Annual Technical Exhibition & Conference, 76th, Los Angeles, CA, United States, Oct.11-15, 2003*, , pp. 302A/1-302A/17.
- Pittman, C.U. & He, J. 2002, "Dechlorination of PCBs, CAHs, herbicides and pesticides neat and in soils at 25 DegC using Na/NH3.", *Journal of hazardous materials*, vol. 92, no. 1, pp. 51-62.
- Plaehn, B., Powell, T., Beyke, G., Richtel, S., Bollmann, D. & Herzog, J. 2004, "Remediation of a waste pit using electrical resistance heating.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 2B.13/1-2B.13/8.
- Plaehn, B., Shangraw, T., Murphy, M., Beyke, G., Tagawa, L. & Bollmann, D. 2002, "Remediation of VOCs in buried drums and landfill debris using electrical resistance heating.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2002, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 3rd, Monterey, CA, United States, May 20-23, 2002*, , pp. 1808-1815.
- PLASTOURGOU, M. & HOFFMANN, M.R. 1984, "Transformation and Fate of Organic Esters in Layered-Flow Systems - the Role of Trace-Metal Catalysis", *Environmental science & technology*, vol. 18, no. 10, pp. 756-764.
- Poehlmann, E. & Kaa, W. 1997, "Remediation of a hazardous waste site by wet mechanical and thermal decontamination processes; a practical example with mercury-containing building materials from former mirror-plating plants.", *Moeglichkeiten und Grenzen der Reinigung Kontaminierter Grundwaesser, Resuemees und Beitrage des DECHEMA-Fachgesprachs Umweltschutz, 12th, Leipzig, Oct.8-10, 1996*, , pp. 597-605.
- Poiger, T., Buser, H., Mueller, M.D., Balmer, M.E. & Buerge, I.J. 2003, "Occurrence and fate of organic micropollutants in the environment: Regional mass balances and source apportioning in surface waters based on

laboratory incubation studies in soil and water, monitoring, and computer modeling.", *Chimia*, vol. 57, no. 9, pp. 492-498.

Polyakov, V.S., Ermilov, V.V. & Malekin, S.I. 2004, *Biodegradation of toxic substances, pesticides and their hydrolysates using amino acids.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: A62D003-00.; Secondary IPC: B09B003-00., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L(TRUNCATED).

Poppendieck, D.G., Loehr, R.C. & Webster, M.T. 1999, "Predicting hydrocarbon removal from thermally enhanced soil vapor extraction systems 1. Laboratory studies.", *Journal of hazardous materials*, vol. 69, no. 1, pp. 81-93.

Poppendieck, D.G., Loehr, R.C. & Webster, M.T. 1999, "Predicting hydrocarbon removal from thermally enhanced soil vapor extraction systems 2. Field study.", *Journal of hazardous materials*, vol. 69, no. 1, pp. 95-109.

Pra Mauro, E., Vincenti, M., Augugliaro, V. & Palmisano, L. 1993, "Photocatalytic degradation of Monuron in aqueous titanium dioxide dispersions.", *Environmental Science and Technology*, vol. 27, no. 9, pp. 1790-1795.

PREVOT, P. & SOYERGOBILLARD, M.O. 1987, "The Degradation of Parathion in Cultures of the Marine Dinoflagellate *Porocentrum-Micans E*", *Water research*, vol. 21, no. 1, pp. 19-23.

Price, S.L., Kasevich, R.S. & Marley, M.C. 1994, "Enhancing site remediation through radio frequency heating.", *Hydrocarbon Contaminated Soils*, vol. 4, pp. 399-411.

Priest, B. & Stephens, R.J. 1975, "Breakdown of p-chlorophenyl methylcarbamate. I. In soil.", *Pesticide Science*, vol. 6, no. 1, pp. 53-59.

Prigge, C.E., Diener, R.G., Gartin, S.A., Lawrence, L.D., Hudson, D. & Hogmire, H.W. 2000, "Benchtop composting reactor for remediation studies.", *Soil Sediment & Groundwater*, , no. June/July, pp. 16-20.

Prost, R. & Yaron, B. 2001, "Use of modified clays for controlling soil environmental quality.", *Soil Science*, vol. 166, no. 12, pp. 880-895.

Pugh, L.B., Rediske, R.R., Rogers, D.F. & Peden, D.H. 1995, "Activated carbon-enhanced biological groundwater treatment: Superfund Site case study.", *Biological Unit Processes for Hazardous Waste Treatment, [Papers from the International In Situ and On-Site Bioreclamation Symposium], 3rd, San Diego, Apr., 1995, , pp. 37-46.*

Pugh, L.B., Rediske, R.R., Rogers, D.F. & Peden, D.H. 1995, "Activated carbon-enhanced biological treatment of a complex groundwater.", *Proceedings of the Water Environment Federation Annual Conference & Exposition, 68th, Miami Beach, Fla., Oct.21-25, 1995*, vol. 2, pp. 445-455.

Quensen, J.F.,3rd, Mueller, S.A., Jain, M.K. & Tiedje, J.M. 1998, "Reductive dechlorination of DDE to DDMU in marine sediment microcosms", *Science*, vol. 280, no. 5364, pp. 722-724.

- Quinlan, M. & Peery, D. 1996, "The guidance of remediation projects using gas chromatographic field screening for pesticides or polychlorinated biphenyls.", *At-Onsite*, vol. 2, no. 1, pp. 171-177.
- Quinn, J.W. & Reinhart, D.R. 1997, "Bioremediation of diesel contaminated soil using biopiles.", *Practice Periodical on Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, vol. 1, no. 1, pp. 18-25.
- Quinn, J.W. 1995, "Bioremediation of diesel contaminated soil using biopiles.", *Proceedings of the National Outdoor Action Conference and Exposition, 9th, Las Vegas, Nev., May 2-4, 1995*, , pp. 497-511.
- Racke, K.D., Steele, K.P., Yoder, R.N., Dick, W.A. & Avidov, E. 1996, "Factors Affecting the Hydrolytic Degradation of Chlorpyrifos in Soil.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 44, no. 6, pp. 1582-1592.
- Rani, N.L. & Lalithakumari, D. 1995, "Degradation of methyl parathion in soil by *Pseudomonas putida*.", *Toxicological and Environmental Chemistry*, vol. 49, no. 4, pp. 247-251.
- Rao, B.H. & Asolekar, S.R. 1998, "Structure activity relationship for prediction of sorption of chlorobenzenes and phenols at the soil-water interface.", *WEFTEC Asia Singapore 1998, Proceedings of the Water Environment Federation Technical Conference and Exposition, Singapore, Mar. 7-11, 1998*, vol. 1, pp. 507-514.
- Rao, P.R.N. 1951, "Pests of cruciferous vegetables and their remedial measures in the Nilgiris.", *Plant Protection Bulletin (Faridabad, India)*, vol. 3, pp. 41-42.
- Raschke, L.E. & Hansen, M.A. 1993, "Air monitoring for agricultural chemicals and byproducts at two superfund sites.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 86TH, no. VOL. 16A, pp. 93TP 64.03, 16pp.
- Rattner, B.A., Melancon, M.J., Rice, C.P., Riley, W., Jr., Eisemann, J. & Hines, R.K. 1997, "Cytochrome P450 and organochlorine contaminants in black-crowned night-herons from the Chesapeake Bay region, USA.", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 16, no. 11, pp. 2315-2322.
- REDDY, B.R. & SETHUNATHAN, N. 1985, "Salinity and the Persistence of Parathion in Flooded Soils", *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 17, no. 2, pp. 235-239.
- Reed, J. & Conley, D. 2000, "Case history: PCB destruction and removal.", *Vadose Zone Science and Technology Solutions*, vol. 2, pp. 1178-1181.
- Reeders, H.H. & Bij de Vaate, A. 1992, "Bioprocessing of polluted suspended matter from the water column by the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pallas).", *Hydrobiologia*, vol. 239, no. 1, pp. 53-63.
- REISH, D.J., KAUWLING, T.J., MEARN, A.J., ROSSI, S.S. & WILKES, F.G. 1978, "Marine and Estuarine Pollution", *Journal Water Pollution Control Federation*, vol. 50, no. 6, pp. 1424-1469.

- Rhykerd, R.L., Sen, D., McInnes, K.J. & Weaver, R.W. 1998, "Volatilization of crude oil from soil amended with bulking agents.", *Soil Science*, vol. 163, no. 2, pp. 87-92.
- Rico, N.F., Campbell, K.W. & Secovich, S. 1997, "Low-temperature soil treatment.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 90th, pp. RP15203/1-RP15203/17.
- Robbat, A., Jr., Smarason, S. & Gankin, Y. 1999, "Fast gas chromatography/mass spectrometry analysis in support of risk-based decisions.", *Field Analytical Chemistry and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 55-66.
- Rodgers, J.D., Jedral, W. & Bunce, N.J. 1999, "Electrochemical Oxidation of Chlorinated Phenols.", *Environmental Science and Technology*, vol. 33, no. 9, pp. 1453-1457.
- Roennpapel, K., Gunkel, J. & Ahlf, W. 1995, "Sensitivity and indicator function of bioassays.", *Soil & Environment*, vol. 5, no. Contaminated Soil 95, Vol. 1, pp. 641-642.
- Rogers, K.R., Lu, F. & Wang, J. 1997, "Liquid chromatography system with an enzyme biosensor for measurement of phenolics.", *Field Analytical Methods for Hazardous Wastes and Toxic Chemicals, Proceedings of a Specialty Conference, Las Vegas, Nev., Jan.29-31, 1997*, , pp. 861-869.
- Rogers, R.B. & Genwick, B.C.I. 1985, *Herbicidal fluorophenoxyphenoxypropionates, derivatives thereof and related compounds.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: C07C069-712.; Secondary IPC: A01N037-06; A01N037-18; C07C067-30; C07C067-31; C07C059-68; C07C103-178; C07C103-58; C07C047-277; C07C043-295., Reg.Pat.Tr.Des.States: Designated States R: AT, BE, CH, DE, FR, IT, LI, NL, SE.; Patent Application Country: Application: EP; Patent Country: EP; Priority Application Country: US.
- Roland, U., Remmler, M., Kopinke, F.-., Becker, P.-., Ondruschka, B. & Muller, S. 1998, "In-situ remediation using radio-frequency heating.", *Contaminated Soil '98, Proceedings of the International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil, 6th, Edinburgh, May 17-21, 1998*, vol. 1, pp. 599-607.
- Roland, U., Kopinke, F., Holzer, F., Blechschmidt, R. & Harting, P. 2003, "Thermal enhancement of soil remediation by radio-wave application-results of field tests with bioremediation and soil vapor extraction.", *Wissenschaftliche Berichte - Forschungszentrum Karlsruhe*, , no. FZKA 6943, Consoil 2003, pp. 1885-1894.
- Rossi, L. & Argento, A. 1964, "Diagnostic value of cholinesterase activity of whole blood and of the rate of urinary excretion of p-nitrophenol in intoxication by parathion.", *Arch.Maladies Profess.Med.Trav.Securite Sociale*, vol. 25, no. 7-8, pp. 395-402.
- Rotich, H.K., Zhang, Z., Zhao, Y. & Li, J. 2004, "The adsorption behavior of three organophosphorus pesticides in peat and soil samples and their degradation in aqueous solutions at different temperatures and pH values.", *International journal of environmental analytical chemistry*, vol. 84, no. 4, pp. 289-301.

Rountree, D. & Anderson, B.W. 2004, "In-situ thermal remediation for enhancement of soil vapor extraction and groundwater recovery for removal of non-aqueous phase liquids at a former florida DOT maintenance yard.", *Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Assessment, and Remediation, Conference and Exposition, Baltimore, MD, United States, Aug.16-18, 2004*, , pp. 110-111.

Russell, R.J., Sutherland, T.D., Horne, I., Oakeshott, J.G., Zachariou, M., Nguyen, H.V., Selleck, M.L. & Costello, M. 2001, "Enzymatic bioremediation of chemical pesticides.", *Australasian Biotechnology*, vol. 11, no. 3, pp. 24-26.

Russell, R.J., Heidari, R., Devonshire, A., Dorrian, S.J. & Oakeshott, J.G. 2003, *Degradation of hydrophobic ester pesticides and toxins using mutated insect carboxyl esterases.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C12P007-62.; Secondary IPC: C12N009-18., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L (TRUNCATED).

Russell, R.J., Newcomb, R.D., Campbell, P.M., Robin, Geoffrey Charles De Quetteville, Claudianos, C., Smyth, K., Boyce, T.M., Oakeshott, J.G., Brownlie, J.C. & et al 1997, *Malathion carboxylesterases of resistant *Lucilia cuprina* for bioremediation of insecticide contamination.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C12N015-55.; Secondary IPC: C12N009-16; C12N009-18; C02F001-58; C02F003-00., PCT Designated States: Designated States W: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, S (TRUNCATED).

Sadler, K.G., Troxler, W.L. & Holcomb, D.H. 2002, "Fate of dioxins treated by low-temperature thermal processes.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2002, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 3rd, Monterey, CA, United States, May 20-23, 2002*, , pp. 2029-2036.

Safferman, S.I., Lamar, R.T., Vonderhaar, S., Neogy, R., Haught, R.C. & Krishnan, E.R. 1995, "Treatability study using *Phanerochaete sordida* for the bioremediation of DDT contaminated soil.", *Toxicological and Environmental Chemistry*, vol. 50, no. 1+4, pp. 237-251.

Sahle-Demessie, E. & Richardson, T. 2000, "Cleaning up pesticide contaminated soils: Comparing effectiveness of supercritical fluid extraction with solvent extraction and low temperature thermal desorption", *Environmental technology*, vol. 21, no. 4, pp. 447-456.

Sahle-Demessie, E., Meckes, M.C. & Richardson, T.L. 1996, "Remediating pesticide contaminated soils using solvent extraction.", *Environmental Progress*, vol. 15, no. 4, pp. 293-300.

Sahrawat, K.L. 1979, "Effects of parathion and malathion on transformations of urea and ammonium sulfate nitrogen in soils.", *Plant and Soil*, vol. 53, no. 1-2, pp. 11-16.

Sakagami, A., Ito, K., Ogino, S. & Iemura, M. 2002, *Remedies for regurgitant esophagitis containing phenylpiperaziny propanol derivatives.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: A61K031-4418.; Secondary IPC: A61K031-506; A61P009-00; A61P029-00; C07D241-04., Patent Application Country: Application: JP; Patent Country: JP.

Sakai, T., Senga, T., Furuta, T. & Miwa, A. 2001, *Preparation of quinazoline and quinoline derivatives as remedies for diseases mediated by autophosphorylation of PDGF receptors.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D215-233.; Secondary IPC: C07D239-88; C07D401-12; C07D403-12; C07D405-12; A61K031-47; A61K031-496; A61K031-5377; A61K031-505; A61K031-4709; A61K031-517; A61P043-00; A61P009-10., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, M(TRUNCATED).

Sakellarides, T.M., Siskos, M.G. & Albanis, T.A. 2003, "Photodegradation of Selected Organophosphorus Insecticides Under Sunlight in Different Natural Waters and Soils.", *International journal of environmental analytical chemistry*, vol. 83, no. 1, pp. 33-50.

Sasahara, T. & Mohri, M. 2004, *Preparation of novel 2,3,4,5-tetrahydro-5-(aminophenyl)-1,4-benzothiazepine-1,1-dioxide quaternary ammonium compounds as inhibitors of ileal bile acid transporter.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D281-10.; Secondary IPC: A61K031-554; A61P001-16; A61P003-06; A61P009-10; A61P043-00., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L(TRUNCATED).

Sasaki, H., Nagasawa, T. & Ishii, H. 2000, *Polluted soil remediation by heating treatment in combination with treatment by iron powder.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: B09C001-02.; Secondary IPC: B09C001-08; B09B003-00., Patent Application Country: Application: JP; Patent Country: JP.

Sato, M., Kakinuma, H. & Asanuma, H. 2004, *Preparation of aryl 5-thio-b-D-glucopyranoside derivatives as remedies for diabetes.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07H015-20.; Secondary IPC: C07H015-203; A61K031-7034; A61K045-06; A61P003-10; A61P013-12; A61P043-00., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L(TRUNCATED).

Satoh, A., Kawamoto, H., Ozaki, S., Ito, Y. & Iwasawa, Y. 2000, *Preparation of triazaspirodecanone derivatives as nociceptin receptor antagonists.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D471-10.; Secondary IPC: C07D487-10; A61K031-407; A61K031-438; A61P003-04; A61P009-02; A61P013-00; A61P025-04; A61P025-14; A61P025-16; A61P025-18; A61P025-24; A61P025-36; A61P043-00., PCT Designated States: Designated States W: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, M(TRUNCATED).

- Satyanarayana, T. & Getzin, L.W. 1973, "Properties of a stable cell-free esterase from soil.", *Biochemistry*, vol. 12, no. 8, pp. 1566-1572.
- Sawyer, D.T., Tsang, P.K.S., Jeon, S. & Nicholson, M. 1992, "Nucleophilic and reductive remediation strategies for hazardous halogenated hydrocarbons (PCBs, HCB, PCP, TCE, carbon tetrachloride, DCBP, EDB, DDT, and DDE).", *Ind. Environ. Chem. [Proc. Tex. A&M Univ., IUCCP Annu. Symp.]*, 10th, , pp. 181-212.
- Sayles, G.D., You, G., Wang, M. & Kupferle, M.J. 1997, "DDT, DDD, and DDE Dechlorination by Zero-Valent Iron.", *Environmental Science and Technology*, vol. 31, no. 12, pp. 3448-3454.
- Scaramuzzo, J. 2004, "Electrical resistance heating pilot for in situ VOC remediation.", *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds--2004, Proceedings of the International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 4th, Monterey, CA, United States, May 24-27, 2004*, , pp. 2B.15/1-2B.15/11.
- Scheckel, K.G. & Ryan, J.A. 2002, "Extractability of metals from smelter-contaminated soils treated with phosphorus amendments.", *Preprints of Extended Abstracts presented at the ACS National Meeting, American Chemical Society, Division of Environmental Chemistry*, vol. 42, no. 1, pp. 125-130.
- Scheunert, I. 1992, "Transformation and degradation of pesticides in soil.", *Chemistry of Plant Protection*, vol. 8, no. Terr. Behav. Pestic., pp. 23-75.
- Schimmel, S.C., Benyi, S.J. & Strobel, C.J. 1999, "An assessment of the ecological condition of Long Island Sound, 1990-1993.", *Environmental monitoring and assessment*, vol. 56, no. 1, pp. 27-49.
- Schmidt, H.D., Solinski, P. & Campagna, P. 1998, "Sampling and remediation procedures at a widespread methyl parathion site.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 91st, pp. TP4806/1-TP4806/8.
- Schoefs, O., Deschenes, L. & Samson, R. 1998, "Efficiency of a new covering system for the environmental control of biopiles used for the treatment of contaminated soils.", *Journal of Soil Contamination*, vol. 7, no. 6, pp. 753-771.
- Schroeder, R.A., Orem, W.H. & Kharaka, Y.K. 2002, "Chemical evolution of the Salton Sea, California: nutrient and selenium dynamics.", *Hydrobiologia*, vol. 473, pp. 23-45.
- Schueuermann, G. 1992, "ecotoxicology and structure-activity studies of organophosphorus compounds.", *Ration. Approaches Struct., Act., Ecotoxicol. Agrochem.*, , pp. 485-541.
- Schwippert, W.W. 1986, "The relaxing effect of herbicidal degradation products on a molluskan smooth muscle.", *Pesticide biochemistry and physiology*, vol. 25, no. 3, pp. 439-445.
- Sethunathan, N. 1973, "Degradation of parathion in flooded acid soils.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 21, no. 4, pp. 602-604.

Sethunathan, N. 1973, "Organic matter and parathion degradation in flooded soil.", *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 5, no. 5, pp. 641-644.

Sethunathan, N., Sudhakar Barik, Venkateswarlu, K., Wahid, P.A., Ramakrishna, C., Pal, S.S., Ray, R.C., Chendrayan, K., Rao, Y.R. & Rao, V.R. 1980, "Effects of combined pesticides application on their persistence in flooded rice soils.", *Agrochem.Residue-Biota Interact.Soil Aquat.Ecosyst., Proc.Rep.Comb.Advis.Group Meet.Res.Co-ord.Meet.*, , pp. 259-281.

Severin, B.F. 2001, *Method of soil extraction.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: B09C001-02.; Secondary IPC: B01D011-02., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, L (TRUNCATED).

Shabeb, M.S.A. 2000, "Photoassimilation of nitrophenols by *Rhodobacter capsulatus* ASW 415 and *Rhodocyclus gelatinosus* ASW 153.", *Bulletin of the Faculty of Science, Assiut University, D: Botany*, vol. 29, no. 1, pp. 257-269.

Shah, J.K., Sayles, G.D., Suidan, M.T., Mihopoulos, P. & Kaskassian, S. 2001, "Anaerobic bioventing of unsaturated zone contaminated with DDT and DNT.", *Water Science and Technology*, vol. 43, no. 2, 1st World Water Congress, Part 2: Industrial Wastewater and Environmental Contaminants, 2000, pp. 35-42.

Shallsuku, P. & Asogwa, E. 2000, "A comparable study of photochemical reactivity of riboflavin and its ester analogue in the treatment of industrial wastewater.", *Journal of Chemical Society of Nigeria*, vol. 25, pp. 100-104.

Sharmila, M., Ramanand, K., Adhya, T.K. & Sethunathan, N. 1988, "Temperature and the persistence of methyl parathion in a flooded soil.", *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 20, no. 3, pp. 399-401.

Sharmila, M., Ramanand, K. & Sethunathan, N. 1989, "Effect of yeast extract on the degradation of organophosphorus insecticides by soil enrichment and bacterial cultures.", *Canadian journal of microbiology*, vol. 35, no. 12, pp. 1105-1110.

Shaw, E.A. 1996, *Remediation of pesticide-contaminated soil.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: B09B003-00.; Secondary IPC: B09C001-00., PCT Designated States: Designated States W: AM, AT, AU, AZ, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK.; (TRUNCATED).

Shaw, P. & Hickey, B. 2001, *The legacy of 110 years of dockyard operations.*

Shealy, S.E. & Groen, A. 1994, "Fate of contaminants and other organics during treatment of wastes by thermal desorption.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 87th, no. Vol. 13, Hazardous Waste Management & Control, pp. 16pp 94-RA84C.03.

Sheih, Y. 1994, "Thermo-O-Detox - a thermal separation system.", *Therm.Treat.Radioact., Hazard.Chem., Mixed, Munitions, Pharm.Wastes, Proc.Int.Incineration Conf., 13th*, , pp. 215-220.

Shen, P. & Rabideau, A.J. 1998, "Enhanced degradation of trichloroethylene in the presence of metallic iron and soil/smectites.", *Hazardous and Industrial Wastes*, vol. 30th, pp. 349-358.

Shimada, T. & Konda, M. 2004, *Method and apparatus for treating soil polluted with volatile organic substance.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: B09C001-06.; Secondary IPC: F23G007-06; F23G007-14., Patent Application Country: JP; Patent Country: JP.

Shimazu, M., Mulchandani, A. & Chen, W. 2001, "Simultaneous degradation of organophosphorus pesticides and p-nitrophenol by a genetically engineered *Moraxella* sp. with surface-expressed organophosphorus hydrolase.", *Biotechnology and bioengineering*, vol. 76, no. 4, pp. 318-324.

Shivaramaiah, H.M., Odeh, I.O.A., Kennedy, I.R. & Skerritt, J.H. 2002, "Mapping the distribution of DDT residues as DDE in the soils of the irrigated regions of northern New South Wales, Australia using ELISA and GIS", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, no. 19, pp. 5360-5367.

Showers, D.R., Norris, R.D. & Clarke, A.N. 1996, "Treatability studies for pesticides contaminated soil from a superfund site: a case study of six technologies.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 89th, pp. wp75b06/1-wp75b06/23.

Siddaramappa, R., Rajaram, K.P. & Sethunathan, N. 1973, "Degradation of parathion by bacteria isolated from flooded soil.", *Applied Microbiology*, vol. 26, no. 6, pp. 846-847.

Siegrist, R.L. & West, O.R. 2000, "Case history of mixed-region vapor stripping in a silty clay vadose zone.", *Vadose Zone Science and Technology Solutions*, vol. 2, pp. 1224-1233.

Sielschott, W. 1992, *Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls for reclamation of contaminated soils using supercritical fluids.*

Silcox, G.D., Larsen, F.S., Owens, W.D. & Choroszy-Marshall, M. 1995, "Kinetics of hydrocarbon and pesticide removal from clay soils during thermal treatment in a pilot-scale rotary kiln.", *Waste Management (New York)*, vol. 15, no. 5/6, pp. 339-349.

Singh, N., Megharaj, M., Gates, W.P., Churchman, G.J., Anderson, J., Kookana, R.S., Naidu, R., Chen, Z., Slade, P.G. & Sethunathan, N. 2003, "Bioavailability of an organophosphorus pesticide, fenamiphos, sorbed on an organo clay", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 51, no. 9, pp. 2653-2658.

Singh, U.P. & Rodriguez, D. 1995, "Potential health risks from a hazardous waste site under institutional failure scenarios.", *Proceedings of the Water Environment Federation Annual Conference & Exposition, 68th, Miami Beach, Fla., Oct.21-25, 1995*, vol. 4, pp. 603-614.

Sittler, S.P., Swinford, G.L. & Gardner, D.G. 1992, "Use of thermal-enhanced soil vapor extraction to accelerate remediation of diesel-affected soils.", *Ground Water Management*, vol. 14, no. Proceedings of the 1992

Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection, and Restoration, pp. 413-426.

Sleep, B.E. & Ma, Y. 1997, "Thermal variation of organic fluid properties and impact on thermal remediation feasibility.", *Journal of Soil Contamination*, vol. 6, no. 3, pp. 281-306.

Smart, J.L. 2005, "Application of six-phase soil heating technology for groundwater remediation.", *Environmental Progress*, vol. 24, no. 1, pp. 34-43.

Smith, G. 2000, "Closure of trichloroethene and 1,1,1-trichloroethane DNAPL remediation using thermal technologies.", *Physical and Thermal Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 2nd, Monterey, CA, United States, May 22-25, 2000*, , pp. 167-174.

Smith, S.L., MacDonald, D.D., Keenleyside, K.A., Ingersoll, C.G. & Field, L.J. 1996, "A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems.", *Journal of Great Lakes Research*, vol. 22, no. 3, pp. 624-638.

Sng, M.T., Lee, F.K. & Lakso, H.A. 1997, "Solid-phase microextraction of organophosphorus pesticides from water", *Journal of chromatography.A*, vol. 759, no. 1-2, pp. 225-230.

Snyder, T.E. 1950, "Control of nonsubterranean termites.", *Farmers' Bulletin*, vol. No. 2018, pp. 16.

Somasundaram, L., Coats, J.R. & Racke, K.D. 1989, "Degradation of pesticides in soil as influenced by the presence of hydrolysis metabolites.", *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, vol. B24, no. 5, pp. 457-478.

Somasundaram, L., Coats, J.R., Racke, K.D. & Shanbhag, V.M. 1991, "Mobility of pesticides and their hydrolysis metabolites in soil.", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 10, no. 2, pp. 185-194.

Sommerfeld, L. 2003, "Treatment of fine-grained, polycyclic aromatic hydrocarbon-loaded residues from soil washing.", *Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 15: Umwelttechnik*, vol. 247, pp. i-x,1-120.

Spadaro, P.A., Templeton, D.W., Hartman, G.L. & Wang, T.S. 1993, "Predicting water quality during dredging and disposal of contaminated sediments from the Sitcum Waterway in Commencement Bay, Washington, USA.", *Water Science and Technology*, vol. 28, no. 8-9, pp. 237-254.

Sreenivasulu, C. & Aparna, Y. 2001, "Bioremediation of methylparathion by free and immobilized cells of *Bacillus* sp. isolated from soil.", *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, vol. 67, no. 1, pp. 98-105.

Stangroom, S.J., Lester, J.N. & Collins, C.D. 2000, "Abiotic behavior of organic micropollutants in soils and the aquatic environment. A review: I. partitioning.", *Environmental technology*, vol. 21, no. 8, pp. 845-863.

Stanley, G.A., Britz, M.L., Boonchan, S. & Juhasz, A. 2000, "Detoxification of soils containing high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons

by gram-negative bacteria and bacterial-fungal cocultures.", *Environmental Science and Pollution Control Series*, vol. 22, no. Bioremediation of Contaminated Soils, pp. 409-443.

Steffan, D.G. & Akgerman, A. 2001, "Thermodynamic modeling of binary and ternary adsorption on silica gel.", *AIChE Journal*, vol. 47, no. 5, pp. 1234-1246.

Stehr, J., Muller, T. & Scheper, T. 2001, "Modern soil remediation strategy enhancement of microbial PAH degradation.", *Chemie Ingenieur Technik*, vol. 73, no. 8, pp. 1051-1060.

Steininger, M. & Gryglewicz, S. 1996, *Method of removing hydrocarbons from underground water.*, Patent Kind Code: B1 edn, Main IPC: C02F001-26., Patent Application Country: Application: PL; Patent Country: PL.

Stephenson, K.M., Novakowski, K., Davis, E. & Heron, G. 2006, "Hydraulic characterization for steam enhanced remediation conducted in fractured rock", *Journal of contaminant hydrology*, vol. 82, no. 3-4, pp. 220-240.

Stewart, L.D., Ginn, J. & Hicken, S. 1998, "Field demonstration of thermally enhanced extraction for DNAPL source removal.", *Nonaqueous-Phase Liquids: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 1st, Monterey, Calif., May 18-21, 1998*, , pp. 211-216.

Strickland, J.A. 1996, "Do concentration-toxicity screens eliminate risky chemicals from cumulative risk estimates?", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 89th, pp. ra123a03/1-ra123a03/16.

Strzempka, C.P., Cox, R.E., Freasier, R.E. & Critzer, J.W. 1995, "Thermally enhanced fluid injection with vacuum extraction at a Colorado Superfund Site.", *Proceedings of the National Outdoor Action Conference and Exposition, 9th, Las Vegas, Nev., May 2-4, 1995*, , pp. 465-478.

Sudhakar-Barik, Wahid, P.A., Ramakrishna, C. & Sethunathan, N. 1979, "A change in the degradation pathway of parathion after repeated applications to flooded soil.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 27, no. 6, pp. 1391-1392.

Sumner, M.E., Fey, M.V. & Farina, P.W. 1988, "Amelioration of acid subsoils with phosphogypsum.", *Proc.Int.Symp.Phosphogypsum, 2nd*, vol. 1, pp. 211-229.

Sun, S., Inskeep, W.P. & Boyd, S.A. 1995, "Sorption of Nonionic Organic Compounds in Soil-Water Systems Containing a Micelle-Forming Surfactant.", *Environmental Science and Technology*, vol. 29, no. 4, pp. 903-913.

Sundaram, K.M.S. 1990, "Persistence and metabolic fate of fenitrothion in northern Ontario forest soils and leaf litter under laboratory conditions.", *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, vol. B25, no. 6, pp. 743-766.

Sundstrom, G.C. 1994, "Risk-based remediation of pesticide contamination.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management*

Association, vol. 87th, no. Vol. 9, Environmental Exposure & Risk Assessment, pp. 15 pp. Paper 94-RP133.04.

"Status of certain additional over-the-counter drug category II and III active ingredients.", 1993, *Federal register*, vol. 58, no. 88, pp. 27636-27644.

*Superfund Record of Decision (EPA Region 4): Geigy Chemical Corporation, Moore County, Aberdeen, NC. (First remedial action), August 1992.*1992, .

*Superfund Record of Decision (EPA Region 2): Swope Oil and Chemical Company, Pennsauken Township, Camden County, NJ. (Second remedial action), September 1991.*1991, .

*Superfund Record of Decision (EPA Region 4): Ciba-Geigy, Washington County, McIntosh, AL. (Second remedial action), September 1991.*1991, .

*Superfund Record of Decision (EPA Region 5): Fadrowski Drum disposal site, Franklin, WI. (First remedial action), June 1991.*1991, .

*Superfund Record of Decision (EPA Region 7): Ellisville Area site, St. Louis County, Ellisville, MO. (First remedial action), (Amendment), September 1991.*1991, .

*Superfund Record of Decision (EPA Region 7): Ellisville Area Site, St. Louis County, Ellisville, MO. (Second remedial action), September 1991.*1991, .

*Superfund Record of Decision (EPA Region 2): Myers Property, Franklin Township, NJ. (First remedial action), September 1990.*1990, .

*Superfund Record of Decision (EPA Region 5): Pristine, Inc., Reading, OH. (First remedial action), March 1990. (Amendment).*1990, .

*Superfund Record of Decision (EPA Region 9): Stringfellow Hazardous Waste Site, Riverside County, CA. (Fourth remedial action), September 1990.*1990, .

*Superfund Record of Decision (EPA Region 4): Cape Fear Wood Preserving, NC. (First Remedial Action), June 1989.*1989, .

*Superfund Record of Decision (EPA region 2): Lipari Landfill, Mantua Township, Gloucester County, New Jersey, July 11, 1988. Third Remedial Action.*1988, .

*Superfund record of decision (EPA Region 4): Geiger (C and M Oil) site, Charleston County, South Carolina, June 1987. First remedial action.*1987, .

*Superfund record of decision (EPA region 6): Crystal City Airport, Zavala County, Texas (first remedial action), September 1987.*1987, .

Suresh, B., Sherkhane, P.D., Kale, S., Eapen, S. & Ravishankar, G.A. 2005, "Uptake and degradation of DDT by hairy root cultures of *Cichorium intybus* and *Brassica juncea*.", *Chemosphere*, vol. 61, no. 9, pp. 1288-1292.

Swenson, W., Arendt, J. & Wilson, D.S. 2000, "Artificial selection of microbial ecosystems for 3-chloroaniline biodegradation.", *Environmental microbiology*, vol. 2, no. 5, pp. 564-571.

Takiyama, L.R. & Huang, C.P. 1995, "In-situ removal of phenols from contaminated soil by electro-osmosis process.", *Hazardous and Industrial Wastes*, vol. 27th, pp. 835-846.

- Tanaka, S., Cheema, M.J. & Gupta, H. 1996, "Reductive dechlorination of 2,4,6-trichlorophenol under methanogenic and sulfidogenic conditions.", *Proceedings - WEFTEC '96, Annual Conference & Exposition, 69th, Dallas, Oct.5-9, 1996*, vol. 1, pp. 23-31.
- Tang, N.H., Massol-Deya, A., Cavallaro, N. & Graulau, J. 1999, "Bioremediation of PCP contaminated soil by composting.", *Contaminated Soils*, vol. 4, pp. 273-283.
- Taylor, R.T., Jackson, K.J., Duba, A.G. & Chen, C. 1998, *In situ thermally enhanced biodegradation of petroleum fuel hydrocarbons and halogenated organic solvents.*, Patent Kind Code: A edn, Main IPC: C02F003-34., Patent Application Country: Application: US; Patent Country: US.
- TeKrony, M.C., Ahlert, R.C. & Rugge, C.D. 1993, "Thermal enhancement of dense non-aqueous phase fluid recovery from soil: a pilot-plant demonstration.", *Proceedings of the Industrial Waste Conference*, vol. 47th, pp. 253-259.
- Terril, M.E., Ou, K.C. & Splitstone, D.E. 1995, "Case study: A DDT field screening technique to guide soil remediation.", *Hydrocarbon Contaminated Soils*, vol. 5, pp. 151-166.
- Theiss, D., Conlin, B. & Ladanowski, C. 1995, "1994 emergency response to dumping of DDT canisters at the Border Pump Station, Rainy Hollow, BC.", *Proceedings - Technical Seminar on Chemical Spills, 12th, Edmonton, Alberta, June 12-13, 1995*, , pp. 279-293.
- Theurer, T., Winkler, A., Hiester, U. & Koschitzky, H.-. 2003, "Mathematical and numerical modeling of thermally enhanced in-situ remediation with thermal wells.", *Wissenschaftliche Berichte - Forschungszentrum Karlsruhe*, , no. FZKA 6943, Consoil 2003, pp. 1981-1992.
- Thoming, J., Kliem, B.K. & Ottosen, L.M. 2000, "Electrochemically enhanced oxidation reactions in sandy soil polluted with mercury.", *Science of the Total Environment*, vol. 261, no. 1-3, pp. 137-147.
- Thompson, L. 2002, "Batch vitrification treatment of chlorinated organic wastes.", *Proceedings of the Annual International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, 21st, New Orleans, LA, United States, May 13-17, 2002*, , pp. 762-770.
- Thorn, P.M., Kreitinger, J.P. & Stroo, H.F. 1991, "Biodegradation of pesticides in soil.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 84th, no. Vol. 11, pp. Paper 91/22.13, 25.
- Torrents, A. & Stone, A.T. 1994, "Oxide surface-catalyzed hydrolysis of carboxylate esters and phosphorothioate esters.", *Soil Science Society of America Journal*, vol. 58, no. 3, pp. 738-745.
- Torres-Martinez, C.L., Kho, R., Mian, O.I. & Mehra, R.K. 2001, "Efficient Photocatalytic Degradation of Environmental Pollutants with Mass-Produced ZnS Nanocrystals.", *Journal of colloid and interface science*, vol. 240, no. 2, pp. 525-532.

- Traister, M. 1997, "Field verification of dioxin-furan emissions from the low temperature thermal treatment of chlorinated soils.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 90th, pp. FA16205/1-FA16205/12.
- Travers, M.A. & Kennington, B.S. 2004, "Evaluation of contaminated sediment remediation through post-remedial monitoring.", *Remediation of Contaminated Sediments, Proceedings of the International Conference on Remediation of Contaminated Sediments, 2nd, Venice, Italy, Sept.30-Oct.3, 2003*, , pp. I03/1-I03/7.
- Troetschler, O., Faerber, A., Weber, K., Haslwimmer, T. & Koschitzky, H. 2003, "Development and technical implementation of the thermally enhanced soil vapor extraction using steam-air injection for the saturated and unsaturated zone.", *Wissenschaftliche Berichte - Forschungszentrum Karlsruhe*, , no. FZKA 6943, Consoil 2003, pp. 1868-1877.
- Tront, J.M., Amos, B.K., Loeffler, F.E. & Saunders, F.M. 2006, "Activity of Desulfitobacterium sp. Strain Viet1 Demonstrates Bioavailability of 2,4-Dichlorophenol Previously Sequestered by the Aquatic Plant Lemna minor.", *Environmental Science and Technology*, vol. 40, no. 2, pp. 529-535.
- Troxler, W.L., Harwood, T., Hunt, J.W., Polumbo, G.A., Ko, M. & Pang, W.W.S. 2004, "Thermal desorption treatment of dioxin contaminated soil at the Penny's Bay site.", *Proceedings of the Annual International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, 23rd, Phoenix, AZ, United States, May 10-14, 2004*, , pp. 531-546.
- Tse, K.K.C. & Lo, S. 2001, "Desorption kinetics of PCP-contaminated soil: effect of temperature.", *Water research*, vol. 36, no. 1, pp. 284-290.
- Tuxen, N., Ejlskov, P., Albrechtsen, H., Reitzel, L.A., Pedersen, J.K. & Bjerg, P.L. 2003, "Application of natural attenuation to ground water contaminated by phenoxy acid herbicides at an old landfill in Sjoelund, Denmark.", *Ground Water Monitoring and Remediation*, vol. 23, no. 4, pp. 48-58.
- Uchida, M., Kobayashi, H., Kai, Y., Yokoyama, K., Terao, Y. & Muranaka, H. 2003, *Preparation of 5-amidino-2-hydroxybenzenesulfonamides as activated blood coagulation factor X inhibitors.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07C311-37.; Secondary IPC: C07C311-29; C07D207-00; C07D211-62; C07D213-00; C07D231-12; C07D233-36; C07D241-04; C07D261-08; C07D263-20; C07D271-00; C07D277-44; C07D295-00; C07D333-00; A61K031-00; A61P007-02; A61P009-00; A61P009-04; A61 (TRUNCATED), PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, L (TRUNCATED).
- Udell, K.S. 1998, "Removal of volatile organic contaminants from soil and groundwater.", *Central European journal of public health*, vol. 6, no. 2, pp. 148-151.
- Udell, K.S. 2000, "Thermal remediation of soil and groundwater contamination.", *Groundwater 2000, Proceedings of the International Conference*

on *Groundwater Research, Copenhagen, Denmark, June 6-8, 2000*, pp. 367-368.

Udell, K.S. 1998, "Application of in situ thermal remediation technologies for DNAPL removal.", *IAHS Publication*, vol. 250, no. Groundwater Quality: Remediation and Protection, pp. 367-374.

Ueda, K., Fukatsu, A., Hamano, S., Yasuda, T. & Umemura, S. 2003, "Study of remediation for dioxin contaminated soil by indirect heating process.", *Hitachi Zosen Giho*, vol. 64, no. 1, pp. 22-25.

Ueda, K., Fukazu, R., Hamano, S. & Umemura, S. 2003, *Remediation of soil polluted with dioxins by heating method.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: B09C001-02.; Secondary IPC: A62D003-00; B09B003-00; B09C001-08., Patent Application Country: Application: JP; Patent Country: JP.

Ueda, K., Hamano, S., Fukatsu, A., Yasuda, T., Hirotsune, A. & Umemura, S. 2003, "Study of thermal treatment of dioxin-contaminated soil by the indirect heating process.", *Organohalogen Compounds*, vol. 63, pp. 300-303.

Ueda, K., Iwamoto, S., Umemura, S., Nagaya, K., Iwata, H. & Tanabe, S. 2005, "On-site remediation of soil contaminated by dioxins with an indirect heating process.", *Kankyo Kagaku*, vol. 15, no. 2, pp. 311-320.

Ueda, K., Sato, N. & Fukazu, A. 2001, *Arsenic removal from waste gas in polluted soil remediation process.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: B01D053-64.; Secondary IPC: B09B003-00; B09C001-06., Patent Application Country: Application: JP; Patent Country: JP.

Ueno, K., Ogawa, A., Ohta, Y., Nomoto, Y., Takasaki, K., Kusaka, H., Yano, H., Suzuki, C. & Nakanishi, S. 2001, *Preparation of quinazoline and quinoline derivatives as remedies for diseases mediated by autophosphorylation of PDGF receptors.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D487-14.; Secondary IPC: A61K031-519; A61K031-522; A61K031-5377; A61P003-10; C07D487-14; C07D233-58; C07D233-64; C07D239-58; C07D487-14; C07D233-58; C07D233-64; C07D239-26., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, M(TRUNCATED).

Urbanek, H., Majorowicz, H., Zalewski, M. & Saniewski, M. 2005, "Induction of Glutathione S-Transferase and Glutathione by Toxic Compounds and Elicitors in Reed Canary Grass.", *Biotechnology Letters*, vol. 27, no. 13, pp. 911-914.

Ushio, H., Ishibuchi, S., Naito, Y., Sugiyama, N., Kawaguchi, T., Chiba, K., Ohtsuki, M. & Naka, Y. 2000, *Preparation of pyrazolecarboxamides and pyrrolecarboxamides as inhibitors of the proliferation of activated lymphocytes and as remedies for autoimmune disease.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: C07D207-337.; Secondary IPC: C07D231-14; C07D231-16; C07D231-22; C07D401-12; C07D401-14; C07D413-12; C07D405-12; C07D409-12; C07D491-113; A61K031-40; A61K031-415; A61K031-454; A61K031-496; A61K031-5355; A61K031-454; A61K031-422; A61K03(TRUNCATED), PCT Designated States: Designated States W: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES,

FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, M(TRUNCATED).

Usman & Arihara, N. 2005, "Development of streamline-based heat transport model for thermal oil-recovery simulation", *Journal of the Japan Petroleum Institute*, vol. 48, no. 1, pp. 9-21.

Vajna de Pava, E. & Battistel, E. 2005, "Polychlorinated dibenzo-dioxins and -furans detoxification of soil promoted by K-polyethylene glycol technology.", *Chemosphere*, vol. 59, no. 9, pp. 1333-1342.

Van Bavel, B., Thelin, R., Lundstedt, S., Oberg, L., Tysklind, M. & Rappe, C. 1998, "Identification of interferences during PCDD/DF analysis in soil from a chlor-alkali facility.", *Organohalogen Compounds*, vol. 36, no. Formation and Sources, Transport and Fate, pp. 113-116.

Van Zwieten, L., Ahmad, N., Marolt, R.S., Ayres, M., Morris, S. & Pearmain, S. 2000, "Has a remediation technology reduced the bioavailability of DDT in soil?", *Contaminated Site Remediation: From Source Zones to Ecosystems, Proceedings of the Contaminated Site Remediation Conference: From Source Zones to Ecosystems, 2nd, Melbourne, Australia, Dec.4-8, 2000*, vol. 1, pp. 291-295.

Van Zwieten, L., Ayres, M. & Williams, J.D. 1999, "Design of remediation technologies for soils contaminated by arsenic and DDT at cattle tick dip sites in NSW.", *Contaminated Site Remediation: Challenges Posted by Urban and Industrial Contaminants, Proceedings of the Contaminated Site Remediation Conference, Fremantle, Australia, Mar.21-25, 1999*, , pp. 521-528.

Van, Z.L., Ahmad, N., Marolt, R.S., Ayres, M. & Morris, S. 2001, "Determination of DDT and its metabolites in cattle dip soil available in aqueous phase after remediation", *Journal of environmental science and health.Part.B, Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*, vol. 36, no. 5, pp. 501-516.

Villalobos, M., Trotz, M.A. & Leckie, J.O. 2001, "Surface complexation modeling of carbonate effects on the adsorption of Cr(VI), Pb(II), and U(VI) on goethite", *Environmental science & technology*, vol. 35, no. 19, pp. 3849-3856.

Vinegar, H.J., De Rouffignac, E.P., Stegemeier, G.L., Hirsch, J.M. & Carl, F.G. 1998, "In situ thermal desorption using thermal wells and blankets.", *Physical, Chemical, and Thermal Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 1st, Monterey, Calif., May 18-21, 1998*, , pp. 25-35.

Vinegar, H.J. & Stegemeier, G.L. 2003, *Soil remediation of mercury contamination.*, Patent Kind Code: A2 edn, Main IPC: B09C001-00., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L(TRUNCATED).

Vinegar, H.J., Stegemeier, G.L. & De Rouffignac, E.P. 2003, *Thermally enhanced soil decontamination method.*, Patent Kind Code: A1 edn, Main IPC: B09C001-06., PCT Designated States: Designated States W: AE, AG, AL,

AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, L(TRUNCATED).

Vis, P.I.M. & Krijger, P. 1998, "Full-scale thermal desorption of soil contaminated with chlorinated compounds.", *Physical, Chemical, and Thermal Technologies: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 1st, Monterey, Calif., May 18-21, 1998*, , pp. 1-6.

Vonk, J.W. 2000, "A steam distillation/extraction method for analysis of soil-bound residues of chlorinated anilines and chloroaniline-containing pesticides.", *Pesticide/Soil Interactions*, , pp. 249-254.

Vorkamp, K., Taube, J., Forster, M., Kellner, E. & Herrmann, R. 1999, "Pesticides as an unknown component of biological waste and its products.", *Human and Environmental Exposure to Xenobiotics, Proceedings of the Symposium Pesticide Chemistry, 11th, Cremona, Sept. 11-15, 1999*, , pp. 609-618.

Vorkamp, K., Kellner, E., Taube, J., Moller, K.D. & Herrmann, R. 2002, "Fate of methidathion residues in biological waste during anaerobic digestion.", *Chemosphere*, vol. 48, no. 3, pp. 287-297.

Wada, Y., Yin, H. & Yanagida, S. 2002, "Environmental remediation using catalysis driven under electromagnetic irradiation.", *Catalysis Surveys from Japan*, vol. 5, no. 2, pp. 127-138.

Waldemer, R.H. & Tratnyek, P.G. 2006, "Kinetics of Contaminant Degradation by Permanganate.", *Environmental Science and Technology*, vol. 40, no. 3, pp. 1055-1061.

Walden, T. 1997, "Summary of processes, human exposures, and technologies applicable to low-permeability soils.", *Ground Water Monitoring and Remediation*, vol. 17, no. 1, pp. 63-69.

Wan, C.K., Wong, J.W.C., Fang, M. & Ye, D.Y. 2003, "Effect of organic waste amendments on degradation of PAHs in soil using thermophilic composting.", *Environmental technology*, vol. 24, no. 1, pp. 23-30.

Wand, H., Kuschik, P., Soltmann, U. & Stottmeister, U. 2002, "Enhanced removal of xenobiotics by helophytes.", *Acta Biotechnologica*, vol. 22, no. 1-2, pp. 175-181.

Wang, J., Zhao, G. & Wu, L. 2005, "Slurry-phase biological treatment of nitrophenol using bioaugmentation technique.", *Biomedical and Environmental Sciences*, vol. 18, no. 2, pp. 77-81.

Wang, L.K. 2004, "Site remediation and groundwater decontamination.", *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment (2nd Edition)*, , pp. 923-969.

Wang, S., Loh, K. & Chua, S.S. 2003, "Prediction of critical cell growth behavior of *Pseudomonas putida* to maximize the cometabolism of 4-chlorophenol with phenol and sodium glutamate as carbon sources.", *Enzyme and microbial technology*, vol. 32, no. 3-4, pp. 422-430.

- WANG, T.C. & HOFFMAN, M.E. 1991, "Degradation of Organophosphorus Pesticides in Coastal Water", *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, vol. 74, no. 5, pp. 883-886.
- Wang, X. & Brusseau, M.L. 1995, "Simultaneous Complexation of Organic Compounds and Heavy Metals by a Modified Cyclodextrin.", *Environmental Science and Technology*, vol. 29, no. 10, pp. 2632-2635.
- Wang, X. & Brusseau, M.L. 1993, "Solubilization of some low-polarity organic compounds by hydroxypropyl- β -cyclodextrin.", *Environmental Science and Technology*, vol. 27, no. 13, pp. 2821-2825.
- Wanner, O., Egli, T., Fleischmann, T., Lanz, K., Reichert, P. & Schwarzenbach, R.P. 1989, "Behavior of the insecticides disulfoton and thiometon in the Rhine River: a chemodynamic study.", *Environmental Science and Technology*, vol. 23, no. 10, pp. 1232-1242.
- Watson, J.H.P., Ellwood, D.C., Pavoni, B., Lazzari, L. & Sperti, L. 2002, "Degradation and removal of sediment PCBs using microbially generated iron sulfide.", *International Conference on Remediation of Contaminated Sediments, 1st, Venice, Italy, Oct.10-12, 2001*, vol. S1-3, pp. 147-158.
- Webb, S.W. & Phelan, J.W. 1995, *Prediction of single-component NAPL behavior for the TEVES project using T2VOC*.
- WEBER, K. 1976, "Degradation of Parathion in Seawater", *Water research*, vol. 10, no. 3, pp. 237-241.
- Wegman, R.C.C., Van den Broek, H.H., Hofstee, A.W.M. & Marsman, J.A. 1984, "Determination of triazines, organophosphorus containing pesticides and aromatic amines in soil samples.", *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Universiteit Gent*, vol. 49, no. 3b, pp. 1231-1239.
- Werner, R.A., Hastings, F.L. & Averill, R. 1983, "Laboratory and field evaluation of insecticides against the spruce beetle (Coleoptera: Scolytidae) and parasites and predators in Alaska.", *Journal of economic entomology*, vol. 76, no. 5, pp. 1144-1147.
- Weston, D.P., Jarman, W.M., Cabana, G., Bacon, C.E. & Jacobson, L.A. 2002, "An evaluation of the success of dredging as remediation at a DDT-contaminated site in San Francisco Bay, California, USA.", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 21, no. 10, pp. 2216-2224.
- Wiedmann, J.L., Ecke, G.G. & Still, G.G. 1976, "Synthesis and isolation of 1-hydroxy-2-propyl 3-chlorocarbanilate from soybean plants treated with isopropyl 3-chlorocarbanilate.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 24, no. 3, pp. 588-592.
- Wildhaber, M.L. & Schmitt, C.J. 1996, "Hazard ranking of contaminated sediments based on chemical analysis, laboratory toxicity tests, and benthic community composition: prioritizing sites for remedial action.", *Journal of Great Lakes Research*, vol. 22, no. 3, pp. 639-652.
- Wilhelm, S.M., McArthur, A. & Kane, R.D. 1994, "Methods to combat liquid metal embrittlement in cryogenic aluminum heat exchangers.", *Proceedings - Ethylene Producers Conference*, vol. 3, pp. 448-483.

- Williams, G.M., Harrison, I., Carlick, C.A. & Crowley, O. 2003, "Changes in enantiomeric fraction as evidence of natural attenuation of mecoprop in a limestone aquifer.", *Journal of contaminant hydrology*, vol. 64, no. 3-4, pp. 253-267.
- Williamson, D., Hoenke, K., Wyatt, J., Davis, A. & Anderson, J. 2000, "Construction of a funnel-and-gate treatment system for pesticide-contaminated groundwater.", *Chemical Oxidation and Reactive Barriers: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, 2nd, Monterey, CA, United States, May 22-25, 2000*, , pp. 257-264.
- Wilson, G.J., Khodadoust, A.P., Suidan, M.T., Acheson, C.M. & Brenner, R.C. 1995, "Anaerobic/aerobic biodegradation of pentachlorophenol using GAC fluidized bed bioreactors: optimization of the empty bed contact time.", *Proceedings of the Water Environment Federation Annual Conference & Exposition, 68th, Miami Beach, Fla., Oct.21-25, 1995*, vol. 2, pp. 559-567.
- Wilson, G.J., Khodadoust, A.P., Suidan, M.T. & Brenner, R.C. 1997, "Anaerobic/aerobic biodegradation of pentachlorophenol using GAC fluidized bed reactors: optimization of the empty bed contact time.", *Water Science and Technology*, vol. 36, no. 6-7, Anaerobic Digestion VIII, pp. 107-115.
- Wilson, G.J., Khodadoust, A.P., Suidan, M.T., Brenner, R.C. & Acheson, C.M. 1998, "Anaerobic/aerobic biodegradation of pentachlorophenol using gac fluidized bed reactors: optimization of the empty bed contact time.", *Water Science and Technology*, vol. 38, no. 7, pp. 9-17.
- WOLFE, N.L. 1980, "Organo-Phosphate and Organophosphorothionate Esters - Application of Linear Free-Energy Relationships to Estimate Hydrolysis Rate Constants for use in Environmental Fate Assessment", *Chemosphere*, vol. 9, no. 9, pp. 571-579.
- Wong, J.M., Li, Q.X., Hammock, B.D. & Seiber, J.N. 1991, "Method for the analysis of 4-nitrophenol and parathion in soil using supercritical fluid extraction and immunoassay.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 39, no. 10, pp. 1802-1807.
- Wong, S.L., Wainwright, J.F. & Nakamoto, L. 1995, "Monitoring toxicity in four wastewaters in the Bay of Quinte, Lake Ontario.", *Journal of Great Lakes Research*, vol. 21, no. 3, pp. 340-352.
- Worobey, B.L. & Webster, G.R.B. 1982, "Hydrolytic release of tightly complexed 4-chloroaniline from soil humic acids: an analytical method.", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 30, no. 1, pp. 161-164.
- Wren, C.D. & Farrell, C.W. 1995, "Mercury in the natural gas industry in Canada.", *Water, air, and soil pollution*, vol. 80, no. 1-4, pp. 1203-1206.
- Wright, R.J., Scharf, M.E., Meinke, L.J., Zhou, X., Siegfried, B.D. & Chandler, L.D. 2000, "Larval susceptibility of an insecticide-resistant western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) population to soil insecticides: laboratory bioassays, assays of detoxification enzymes, and field performance.", *Journal of economic entomology*, vol. 93, no. 1, pp. 7-13.

Wroblewski, D.M., Brayack, D.D. & De Biase, C.D. 1990, "Solvent extraction of soils contaminated with organic and inorganic compounds.", *Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association*, vol. 83rd, no. Vol. 1, pp. 90/14.6, 13.

Wu, N., Yao, B. & Fan, Y. 2004, *Bacterial strain with broad-spectrum degradation ability to organic phosphorus pesticide and screening method thereof.*, Patent Kind Code: A edn, Main IPC: C12N001-20.; Secondary IPC: C12N009-16; A01N063-00., Patent Application Country: Application: CN; Patent Country: CN.

Wu, Z., Cong, Y., Zhou, M. & Tan, T. 2005, "p-Nitrophenol abatement by the combination of electrocatalysis and activated carbon.", *Chemical Engineering Journal (Amsterdam, Netherlands)*, vol. 106, no. 1, pp. 83-90.

Wycisk, P., Weiss, H., Kaschl, A., Heidrich, S. & Sommerwerk, K. 2003, "Groundwater pollution and remediation options for multi-source contaminated aquifers (Bitterfeld/Wolfen, Germany).", *Toxicology letters*, vol. 140-141, pp. 343-351.

Xia, H., Wu, L. & Tao, Q. 2001, "Water hyacinth accelerating the degradation of malathion in aqueous solution.", *Zhongguo Huanjing Kexue*, vol. 21, no. 6, pp. 553-555.

Yi, M., Wang, K., Jiang, X. & Wang, Y. 2000, "Isolation and characterization of fungi for degradation of methyl parathion.", *Nongyaoxue Xuebao*, vol. 2, no. 4, pp. 40-43.

Zaleska, A., Hupka, J., Wiergowski, M. & Biziuk, M. 2000, "Photocatalytic degradation of lindane, p,p'-DDT and methoxychlor in an aqueous environment.", *Journal of Photochemistry and Photobiology, A: Chemistry*, vol. 135, no. 2-3, pp. 213-220.

Zappi, M.E., Francingues, N.R., Jr. & Adrian, D.D. 1990, "Reduction of effluent recharge capacity at the North Boundary Treatment System, Rocky Mountain Arsenal, Commerce City, Colorado.", *Proc.Natl.Conf.Hazard.Wastes Hazard.Mater.*, 7th, , pp. 153-158.

Zeinali, M. & Torrents, A. 1998, "Mercury-Promoted Hydrolysis of Parathion-methyl: Effect of Chloride and Hydrated Species.", *Environmental Science and Technology*, vol. 32, no. 15, pp. 2338-2342.


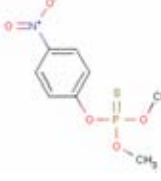

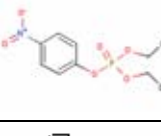
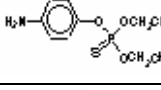
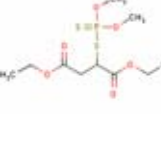

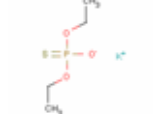
Zelles, L., Scheunert, I. & Korte, F. 1985, "Side effects of some pesticides on nontarget soil microorganisms.", *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, vol. B20, no. 5, pp. 457-488.

Zettler, B. & Dott, W. 1997, "Microbial in situ remediation of an aquifer polluted by chloroaromatic compounds.", *Moeglichkeiten und Grenzen der Reinigung Kontaminierter Grundwaesser, Resueme und Beitrage des DECHEMA-Fachgesprachs Umweltschutz, 12th, Leipzig, Oct.8-10, 1996*, , pp. 755-771.

Zhang, J., Lan, W., Qiao, C., Jiang, H., Mulchandani, A. & Chen, W. 2004, "Bioremediation of Organophosphorus Pesticides by Surface-Expressed Carboxylesterase from Mosquito on Escherichia Coli.", *Biotechnology progress*, vol. 20, no. 5, pp. 1567-1571.

- Zhang, T., An, M. & Zhou, Q. 2004, "Remediation of chlorophenol-contaminated soil with bioslurry process.", *Wuran Fangzhi Jishu*, vol. 17, no. 1, pp. 36-38.
- Zhang, X., Chen, Y., Liu, H., Xia, X. & Wang, Y. 2002, *Organophosphorus insecticide-decomposing bacterium and its preparation method.*, Patent Kind Code: A edn, Main IPC: C12N001-20., Patent Application Country: Application: CN; Patent Country: CN.
- Zhang, Z., Hong, H., Zhou, J.L., Yu, G., Chen, W. & Wang, X. 2002, "Transport and fate of organochlorine pesticides in the River Wuchuan, Southeast China.", *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 4, no. 3, pp. 435-441.
- Zhao, H., Quan, X., Yang, F., Chen, J. & Zhao, Y. 2002, "Basic research on the bioremediation of p,p'-DDT contaminated sediment by adding short chain organic substrate.", *Huanjing Kexue Xuebao*, vol. 22, no. 1, pp. 51-55.
- Zheng, K., Kunkler, A. & Kruff, J. 1993, "Using field gas chromatography for hazardous waste site investigations.", *Hazardous Materials Control*, vol. 6, no. 2, pp. 53-58.
- Zhou, M., Trubey, R.K., Keil, Z.O. & Sparks, D.L. 1997, "Study of the effect of environmental variables and supercritical fluid extraction parameters on the extractability of pesticide residues from soils using a multivariate optimization scheme", *Environmental Science and Technology*, vol. 31, no. 7, pp. 1934-1939.
- Zhu, L., Chen, B., Tao, S. & Chiou, C.T. 2003, "Interactions of organic contaminants with mineral-adsorbed surfactants", *Environmental science & technology*, vol. 37, no. 17, pp. 4001-4006.
- Zou, S. & Zhang, Z. 1998, "Biodegradation of organochlorinated pesticides by *P. chrysosporium* fungi.", *Zhongshan Daxue Xuebao, Ziran Kexueban*, vol. 37, no. 5, pp. 112-115.
- Zoumis, T., Schmidt, A., Grigorova, L. & Calmano, W. 2001, "Contaminants in sediments: remobilization and demobilization.", *Science of the Total Environment*, vol. 266, no. 1-3, pp. 195-202.

Kemiske nøgleparametre for COC'er

Stof	CAS	Struktur	Molarvægt	Kogepunkt [°C]	Densitet ¹⁾ [g/ml]	Henrys lov konstant, k_H	Overfladespænding [dynes/cm]	Damptryk [mm HG]	Log K_{ow}	Vandopløselighed [mg/L]	Bemærkning
Parathion Nedbrydningsprodukter: 1) PNF+EP2-syre 2) Amino EP3 3) Paraaxon 4) Des-EP3	56-38-2		291,26 ⁴⁾	375 v. 760 mm HG ⁴⁾ 160 v. 1 mmHg ¹⁾	1,26 v. 25 °C/4°C ⁴⁾	0,0302 Pa/ m ³ mol ⁴⁾	39,2 v. 25 °C ⁴⁾	0,668 x10 ⁻⁵ v. 20 °C ^{3), 4)} 1x10 ⁻⁵ v. 25 °C ¹⁾ 13x10 ⁻⁵ v. 45 °C ¹⁾	3,83 ⁴⁾ 3,2 ⁵⁾	6,54 ²⁾ 11 v. 20 °C ^{3), 4)}	Opløselig i alkohol, estere, ætere, ketoner aromatiske kulbrinter, chloroform samt animalske og vegetabiliske olier. Viskositet: 15,30 centipoise ved 25 °C. Angriber nogle former for plastik, gummi og coatings. Isomerer ved opvarmning over 130 °C. Hydrolyserer meget langsomt ved pH 1-6 og hurtigere i mere alkaliske miljøer. ⁴⁾
Methyl-parathion Nedbrydningsprodukter: 1) p-nitrophenol (PNF) 2) 2) dimethylthiophosphorsyre (MP2 syre - dannes ved hydrolyse) 3) Methyl amino parathion (dannes ved nitro-group-reduktion) 4) Des-MP3	298-00-0		263,21 ⁴⁾	154 v. 1,02 mm HG ⁴⁾ 109 v. 0,05 mm HG ¹⁾ 143 v 1,0 mm HG ²⁾	1,358 ved 20 °C/4 °C ⁴⁾	8,57x10 ⁻³ Pa/m ³ mol ⁴⁾	i.a.	1,5x10 ⁻⁵ v. 20 °C ⁴⁾ 1,7x10 ⁻⁵ v. 25 °C ¹⁾ 22x10 ⁻⁵ v. 45 °C ¹⁾	2,86 ⁴⁾	55 v. 20 °C ²⁾	Opløselig i ethanol, chloroform og alifatiske opløsningsmidler. Letopløselig i sædvanlige organiske opløsningsmidler. Hydrolyserer villigt. Isomerer til O,S dimethyl-analogen ved opvarmning ⁴⁾
Ethyl-sulfotep (sulfotep)	3689-24-5		322,32 ⁴⁾	136-139 C ved 2 mm HG ⁴⁾	1,196 v. 25 °C/4 °C ⁴⁾	i.a.	i.a.	0,000105 v. 20 °C ^{3), 4)}	3,99 ⁴⁾	30 v. 20 °C ^{3), 4)}	Korrosivt for jern. Blandbart med de fleste organiske opløsningsmidler. Hydrolyserer kun i alkaliske opløsninger ⁴⁾
Paraaxon	311-45-5		i.a.	170 ²⁾	i.a.	1,09x10 ⁻¹⁰ atm m ³ /mol ⁴⁾	i.a.	1,1x10 ⁻⁶ v. 25 °C ^{3), 4)}	1,98 ⁴⁾	3640 v. 20 °C ^{3), 4)}	
Ethyl-amino-parathion	3735-01-0		261,3 ¹⁾	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	
Malathion	121-75-5		330,36 ⁴⁾	156-157 v. 0,7 mm HG ⁴⁾	1,23 v. 25 °C/4 °C ⁴⁾	4,9x10 ⁻⁹ atm m ³ /mol ⁴⁾	37,1 v. 24 °C ⁴⁾	1,78x10 ⁻⁴ v. 25 °C ⁴⁾ 3,4x10 ⁻⁶ v. 25 °C ¹⁾ 1,4x10 ⁻⁴ v. 45 °C ¹⁾	2,36 ⁴⁾ 2,89 ⁵⁾	145 ^{2), 4)}	Korrosivt for metaller. Angriber nogle former for plastik, gummi og coatings. Blandbart med alkohol, estere, ketoner, ætere, aromatiske kulbrinter. Spænding på grænseflade mellem malathion og vand: 19 dynes/cm v. 24 °C. Hydrolyserer ved pH>7,0 eller <5,0. Stabil i vandig opløsning ved pH 5,26. ⁴⁾
Kviksølv	7439-97-6	Hg	200,6 ¹⁾	357 ^{1), 4)}	13,53 ¹⁾	8,62x10 ⁻³ atm m ³ /mol ⁴⁾	i.a.	1,2x10 ⁻³ v. 20 °C ¹⁾ 1,96x10 ⁻³ v. 25 °C ⁴⁾	0,62 ⁴⁾	20 v. 20 °C ²⁾ 0,06 v. 25 °C ⁴⁾	
EP1 (O,O-diethyl-dithiophosphate)	298-06-6		i.a.	i.a.	1,17 ¹⁾ 1,16 v. 25 °C ⁵⁾	i.a.	i.a.	0,0583 v. 25 °C ³⁾ 0,5 v. 57°C ¹⁾ 0,8 v. 66°C ¹⁾		330.000 v. 25 °C ⁵⁾	
EP2-syre	5871-17-0		i.a.	i.a.	1,18 v. ca. 25 °C	i.a.	i.a.	<0,1v. 20°C	i.a.	i.a.	

1) Bilag 3 fra [Niras og TerraTherm, 2005]

2) Dataark fra [Chemfinder, 2006]

3) Dataark fra [SRC PhysProb, 2006]

4) Dataark fra [Toxnet, 2006]

5) [Breinbjerg, 2006]

i.a. : Ikke angivet i den gennemførte litteratur

Halveringstider ved hydrolyse for udvalgte COC'er

Stof	pH	Temperatur [°C]	T _½ [dage]	Bemærkning	Kilde
Malathion	6,1	20	120	I vand	[Freed et al., 1979]
	7,4	20	11	I vand	[Freed et al., 1979]
	7,4	37,5	1,3	I vand	[Freed et al., 1979]
	8,16	28	1,73	I saltvand, 24 ppt	[Wang et al., 1990]
	10	20 ¹⁾	0 ²⁾	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]
	11	20 ¹⁾	0 ²⁾	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]
	12	20 ¹⁾	0 ²⁾	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]
	13,3	20 ¹⁾	0 ²⁾	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]
Parathion	1-5	0	3000	I rent vand	[Aktor Innovation, 2004]
	1-5	20	690	I rent vand	[Aktor Innovation, 2004]
	1-5	30	180	I rent vand	[Aktor Innovation, 2004]
	4	25	4,76	I destilleret vand	[Rotich et al, 2003]
	5	20	690	I rent vand	[Aktor Innovation, 2004]
	6,2	20	180	I fugtig lerjord ved 1 ppm parathion	[Freed et. al, 1979]
	6,2	20	110	I fugtig lerjord ved 0,1 ppm parathion	[Freed et. al, 1979]
	7	20	120	I rent vand	[Aktor Innovation, 2004]
	7	8	29,74	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	7	25	2,96	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	7	25	3,03	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	7	35	2,36	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	7	45	1,91	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	7,4	20	130	I vand	[Freed et al., 1979]
	7,4	37,5	27	I vand	[Freed et al., 1979]
	8	20	99	I rent vand	[Aktor Innovation, 2004]
	8,16	28	35,0	I saltvand, 24 ppt	[Wang et al., 1990]
	10	20	1,2	I rent vand	[Aktor Innovation, 2004]
	10	25	2,31	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	11	20	0,12	I rent vand	[Aktor Innovation, 2004]
11	20 ¹⁾	0,21 ³⁾	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]	
12	20 ¹⁾	0,13	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]	
13,3	20 ¹⁾	0,03 ³⁾	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]	
Methyl parathion	4	25	9,28	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	7	8	68	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	7	25	6,24	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	7	25	6,60	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	7	35	2,70	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	7	45	2,25	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	10	25	4,25	I destilleret vand	[Rotich et al, 2004]
	10	20 ¹⁾	0,13 ³⁾	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]
	11	20 ¹⁾	0,08	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]
	12	20 ¹⁾	0,04	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]
13,3	20 ¹⁾	0 ²⁾	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]	
Ethyl-sulfotep	11	20 ¹⁾	0,10	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]
	12	20 ¹⁾	0,03	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]
	13,3	20 ¹⁾	0 ²⁾	I processpildevand fra Cheminovas produktion ⁴⁾	[Cheminova, 1988]

1) Temperatur ikke opgivet. Forsøg udført i Cheminovas laboratorium, så formodentlig har temperaturen været omkring 20 °C.

2) Nedbrydningen er sket så hurtigt, at det ikke har været muligt at beregne T_½.

3) Udregnet under forudsætning af, at der er tale om en 1. ordens reaktion, hvilket dog er usikkert.

4) Beregnet på baggrund af hastighedskonstanter fra forsøg udført af Cheminova på færdigvarer i spildevand fra produktionen.

Bilag 3: Halveringstider ved hydrolyse for udvalgte COC'er

Health and safety Plan, Rocky Mountain Arsenal

Health and safety Plan, Rocky Mountain Arsenal

1. GENERAL

This task-specific health and safety plan (HASP) provides safety-related information and requirements specific to the task and work location(s) described. General requirements contained in the PMC HASP for Rocky Mountain Arsenal (RMA) along with this task-specific HASP will be implemented except where noted. Significant changes to this HASP shall be documented and approved using a field change request or re-submittal of a revised task-specific HASP.

Project Name:	Hex Pit Soil Remediation	Subcontract Submittal Number: 036430
Task Name:	In-Situ Thermal Destruction	Revision No.: 01 Date: 10/3/01
Performing Organization(s):	TerraTherm, Inc. Envirocon (Site preparation, general labor, operation) Montgomery Phillips (Surveyor) American Drilling Services (Driller) Oilind (Supplied Air) ENSR International (Safety) International Electric Service (Electrician) Propane Vendor (to be determined) EPA SITE (& their stack testing subcontractor)	
Duration of Field Activities:	October 2001 through July 2002	

2. SCOPE OF WORK

Breakdown and description of work activities:

Site mobilization: move equipment and trailers to site; set up fence, decon. area, and supplied-air trailer; site support area surface preparation.

Close existing subsurface utilities: excavate and plug;

Install wells: heater wells, vacuum wells, and monitoring points – combination of auger drilling & direct push;

Connect piping and electrical wiring;

Shake-down and Operation of In-situ Thermal Destruction System: operate heaters, vacuum and emission control systems;

System Monitoring: collect appropriate measurements (flow, temp., pressure, voltage, amperage, etc. and air samples for quality assurance and worker protection);

Decontamination: thoroughly clean and decon all equipment leaving the site; dispose of other equipment;

Demobilization: remove equipment and facilities from the site.

3. LOCATION

Identify work locations at RMA:

Hex Pit Site in South Plants area

4. PERSONNEL

<i>Assigned Responsibility</i>	<i>Name and Organization:</i>	<i>Phone Number:</i>
Task Site Supervisor	Keith Bowden – TerraTherm, Inc.	(832) 439-4110 (cell)
Task Health and Safety Supervisor	Joe Sanders, CIH – ENSR	(970) 493-8878

5. WORK PLAN

A work plan has been developed, reviewed, and accepted for use at RMA for the work described.

<i>Work plan title and date:</i>	<i>Reviewed and accepted by:</i>	
Hex Pit Final (100%) Design Package, March 2001	Subcontractor Project Manager: Ralph Baker – TerraTherm, Inc.	PMC Project Manager: Ron Versaw - FWENC

6. TASK HAZARD(S) SUMMARY

The potential health and safety hazards of this task are summarized below. The potential for encountering these hazards is ranked (high, medium, or low) based on the work to be performed and the hazard control measures to be used.

<i>Summary</i>	<i>Hazard potential</i>	<i>Description of potential hazards</i>
<p>___ Safety</p> <p><i>Slips, trips and falls, strains and sprains, heavy equipment, traffic, excavations, power and hand tools, materials handling, hot work, electrical safety.</i></p>	Medium	<p>Narrow and uneven walking and working surfaces Strains and sprains from lifting equipment / material Heavy equipment: drill rig, backhoe, bobcat, dozer, etc. Excavation cave-ins; hand tool trauma. Falls (if equipment climbed) Electrical shock from high voltage</p>
<p>___ Utilities</p> <p><i>Closing of exist. buried utilities; installation of new aboveground and underground utilities.</i></p>	Medium	<p>Excavation hazards in closing buried utilities (water / sewer); Potential electric shock during installation of distribution panels and system wiring. Potential fire and explosion during installation/operation of fuel lines.</p>
<p>___ Chemical</p> <p><i>(All chemical hazards are identified in the PMC HASP, Section 5)</i></p>	Medium	<p>Hexachlorocyclopentadiene Hexachlorobenzene Aldrin Chlordane Dieldrin Endrin</p>
<p>___ Physical</p> <p><i>Heat, cold, burns, noise</i></p>	Medium	<p>Heat stress from impervious PPE and hot equipment; Cold stress during Winter; Burns from hot equipment Noise from drill rig or equipment</p>
<p>___ Biological</p> <p><i>Plants, animals, insects, spiders</i></p>	Low	<p>Animals: prairie dogs, deer, snakes, etc. (disease vectors) Insects/spiders: unlikely, but could be on site (bites, disease) Plants: nettles may be present (skin irritation)</p>
<p>___ Chemical Warfare Material</p>	Low	Not expected, but possible

___ Ordnance	Low	Not expected, but possible.
--------------	-----	-----------------------------

7. HAZARD CONTROL MEASURES

Safe work practices and control measures to be used for performing this task are identified in several documents. Site-wide hazards and control measures are described in the PMC HASP. Site-wide safety practices are specified in the Project Rules Handbook for the RMA PMC, Volume I and Volume II. TerraTherm and ENSR Health and Safety Procedures are listed in Section 8, below.

Task-specific hazard control measures are specified in the Activity Hazard Analysis (AHA). The AHA has been developed for the following activities and are included as Attachment A.

<i>Activities with an AHA:</i>	
Site Mobilization/Demobilization	Pipe Connection
Existing Utility Closure (Excavation)	Electrical Installation
Well / Monitoring Point installation / removal	ISTD Shakedown and System Operation
Heavy Equipment Operation & Material Handling (Backhoe, Bobcat & Forklift)	Personal and Equipment Decontamination
Surface Cover Installation	

8. WRITTEN SAFETY PROCEDURES AND PROGRAMS

Work at the Hex Pit will be performed in accordance with TerraTherm's Corporate Health & Safety Policy (submitted with our proposal). Since Joe Sanders, CIH of ENSR will be acting as Site Safety Officer, TerraTherm has decided to adopt the following sections of existing ENSR safety procedures and programs for this project. Copies of applicable procedures and programs are included as Attachment B.

<i>Reference Procedure or Program</i>	<i>Applicable Section(s)</i>
ENSR H&S SOP 5.1, Hazard Communication	All
ENSR H&S SOP 8.1, Respiratory Protection	All
ENSR H&S SOP 10.2, Noise	All
ENSR H&S SOP 10.3, Cold Stress	All
ENSR H&S SOP 10.4, Hot Environments	All
ENSR H&S SOP 11.5, Environmental Drilling	All
ENSR H&S SOP 11.7, Fall Protection	All
ENSR H&S SOP 11.1, Excavation	All
ENSR H&S SOP 11.8, Lockout-Tagout	All

9. PERMITS

The following permits are required for work. Applicable completed permits and/or permit forms are included as Attachment C.

<i>Permit</i>	<i>Notes and comments (reference activities, procedures, and coordination with appropriate organizations):</i>
___ Hot Work	Required only if ignition sources are to be used in potentially explosive atmospheres (not expected).
<u>√</u> Excavation	TerraTherm will apply for a permit to conduct intrusive work activities for specific tasks at the Hex Pit site.
	Not expected.

___ Confined Space	
√ Lockout/Tagout	TerraTherm will apply for a LO/TO permit, if necessary.


10. PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

The following personal protective equipment (PPE) will be used for the identified activities.

<i>Activity</i>	<i>Head/Face</i>	<i>Foot</i>	<i>Hands</i>	<i>Respiratory</i>	<i>Clothing</i>
Mobilization/ Demobilization	Hard hat & safety glasses ¹	Safety boots/ impervious or Covered	Work Gloves over Impervious Gloves ²	None ³	Cotton coveralls (Tyvek®) ²
Close Existing Utility	Hard hat & Safety glasses	Safety boots/ impervious or covered	Work Gloves over Impervious Gloves ²	Supplied Air (SA)	Cotton coveralls Tyvek® Saranex® as necessary ²
Well Installation	Hard hat Safety glasses ¹	Safety boots/ Impervious or Covered	Work Gloves over Impervious gloves	None ³ for pushing/driving; SA for augering activities	Cotton coveralls & Saranex®
Connect Piping / Electrical Wiring	Hard hat Safety glasses ¹	Safety boots/ impervious or covered	Work Gloves as necessary (Impervious Gloves) ²	None ³	Cotton coveralls (Tyvek®) ²
Shake-down System / Operate In-situ System	Hard hat & Safety glasses As necessary ¹	Safety boots/ Impervious or Covered	As necessary ^{1,2}	As necessary ^{1,2,3}	Cotton coveralls Tyvek® ² , Saranex® as necessary ^{1,2,3}
System Monitoring	Hard hat & Safety glasses As necessary ^{1,2,3}	Safety boots/ Impervious or covered	Impervious Gloves	None ³ (APR or SA if needed during chemical sampling)	Cotton coveralls Tyvek® Saranex® as necessary ²
Personal / Equipment Decontamination	Hard hat & Safety glasses As necessary ^{1,2,3}	Safety boots/ Impervious or covered	Impervious gloves	APR ³	Cotton coveralls Tyvek® Saranex® as necessary ²
Heavy Equipment Operation	Hard hat & Safety glasses As necessary ^{1,2,3}	Safety boots/ Impervious or covered	Work gloves over impervious gloves ²	None (SA in EZ during intrusive activities) ³	Tyvek® outside the EZ; Saranex® in the EZ during intrusive activities

1. Unless inside trailer
2. Saranex®/Tyvek® and impervious gloves if contaminant contact is likely
3. Air Purifying Respirator (APR) or Supplied Air (SA) if air monitoring indicates potential exposure.

The following competent person certifies that a hazard assessment for the identified activities has been performed and the selection of personal protective equipment is based on best available information.

<i>Printed name</i>	<i>Signature</i>	<i>Date</i>
Joseph E. Sanders, MS, CIH Regional H&S Manager ENSR International		9/4/01

11. SITE MONITORING

Task-specific monitoring requirements are identified below.

Direct Reading Exposure Monitoring (to monitor potential worker exposure)

<i>Activity(s)</i>	<i>Instrument</i>	<i>Action Level(s)</i>	<i>Actions</i>
Organic Vapors	Rae Systems "MiniRae" or Photovac "MicroTip"	1 unit for 15 minutes	Respirators or cessation
Total Dust	MiniRam	0.3 mg/m ³ for 15 min	Respirators/work cessation
Noise	Type I Noise Meter	85 dBA	Hearing Protection
Temperature Extremes	Psychrometer	79 WBGT	Work/Rest Regimen, per ACGIH
<i>Comments or special instructions:</i>			

Integrated Personal Air Monitoring (full-shift worker exposure sampling and/or analysis)

<i>Activity(s)</i>	<i>Contaminant</i>	<i>Method</i>	<i>Frequency</i>
Facility Installation	Hexachlorocyclopentadiene	NIOSH 2518	2 samples (1 during utility closure & 1 during drilling)
	Pesticides (aldrin, dieldrin, endrin, etc.)	NIOSH 5510	2 samples (1 during utility closure & 1 during drilling)
	Metals (As, Cd, Hg)	NIOSH 7300 (As, Cd) NIOSH 6009 (Hg)	2 samples (1 during utility closure & 1 during drilling)
	Total Silica	NIOSH 7500	2 samples (1 during utility closure & 1 during drilling)
	Respirable Silica	NIOSH 0600	2 samples (1 during utility closure & 1 during drilling)
ISTD Operation	Hexachlorocyclopentadiene	NIOSH 2518	1 day
	Pesticides (aldrin, dieldrin, endrin, etc.)	NIOSH 5510	1 day
	Metals (As, Cd, Hg)	NIOSH 7300 (As, Cd) NIOSH 6009 (Hg)	1 day
	Total Silica	NIOSH 7500	1 day
	Respirable Silica	NIOSH 0600	1 day
<i>Comments or special instructions:</i>			

Perimeter or Work Area Monitoring (ambient work area or fence line monitoring)

<i>Activity(s)/Location</i>	<i>Contaminant(s)</i>	<i>Method</i>	<i>Frequency</i>
Facility Installation	Hexachlorocyclopentadiene	NIOSH 2518	As necessary, if work zone monitoring indicates need
ISTD Operations	Pesticides (aldrin, dieldrin, endrin)	NIOSH 5510	As necessary, if work zone monitoring indicates need
<i>Comments or special instructions: Perimeter monitoring only if indicated by other air monitoring.</i>			

12. SITE CONTROL

The PMC HASP, Central Remediation Area Access Control Procedure, and RVO Access Control Procedure govern general site access and control for workers and equipment. Task-specific site control measures are specified below.

Site Control for General Work Area(s)

<i>Location</i>	<i>Site Control Procedure (discuss important elements such as signs, barricades, fencing, briefings, sign-in/out logs, etc.)</i>
Hex Pit area	Orange safety fencing will be erected around the entire site. Additional orange safety fence will separate the Hex Pit exclusion zone from the remainder of the work site. Warning signs will be posted. Access to the Support & Exclusion Zones will be controlled via TerraTherm administrative procedures. Only RMA, PMC, TerraTherm, TerraTherm subcontractors, ENSR, agency personnel (and their subcontractors) will be allowed in the Hex Pit area during work. Sign-in will be required.

Site Control for Potentially Contaminated Area(s)

<i>Location</i>	<i>Site Control Procedure (discuss important elements such as signs, barricades, briefings, qualifications, required supplies and equipment, sign-in/out logs, etc.)</i>
Support Zone	Access to the Support Zone and areas around the EZ will be controlled administratively. The Exclusion Zone will be demarcated with high visibility yellow rope and/or orange safety fence and signs.
Contamination Reduction Zone	The Contamination Reduction Zone (Decon Area) will serve as the only entrance to and egress from the Exclusion Zone. Access will be controlled with high visibility yellow rope and/or orange safety fence.
Exclusion Zone	The Exclusion Zone will be demarcated with orange safety fence and signs. Personnel entry and egress will be via the Contamination Reduction Zone (Decon Area) only.

13. DECONTAMINATION

Required decontamination procedures are described below.

<i>Type of decontamination</i>	<i>Identify activity(s) requiring decontamination, and describe decontamination steps, location, required equipment, and collection and disposal of potentially contaminated liquids and solids.</i>
Personnel decontamination	Work inside the Exclusion Zone during invasive activities (e.g., drilling & utility closure) will require personnel decontamination. Hex Pit personnel will pass through the Contamination Reduction Zone in leaving the Exclusion Zone after invasive activities. Boots will be washed, and contaminated disposable PPE will be removed and placed in a container for disposal as IDW. Decon wash water will be containerized and disposed in accordance with Spec. 01560 and the project-specific ECMMP. Site personnel will shower at the South Plants shower facility prior to leaving the site.
Equipment decontamination	Equipment used in the Exclusion Zone during invasive activities will be decontaminated or disposed of prior to removal from the site. Vehicles will proceed to the South Plants decon facility prior to leaving South Plant. Heavy equipment will be decontaminated in the vehicle decontamination facility prior to leaving South Plants. Sampling equipment will be decontaminated in the exclusion zone using detergent and rinse water. All decon waste will be contained and disposed of according to Spec. 01420 and 01560, and the project-specific CCP and ECMMP.
Other: _____	Contaminated materials (disposable PPE, etc.) will be drummed and disposed of in accordance with RMA procedures. IDW soils will be placed on the Hex Pit for in-situ decontamination or transported to an on-post disposal facility.

14. COMMUNICATIONS

Primary and back-up means of communications for field crews have been established as described below.

<i>Type of communication</i>	<i>Primary means</i>	<i>Back-up means</i>
Communications with Fire and Emergency Services	Radio (RMA Ch.1)	Cell Phone
Communications with home base	Radio	Cell Phone
Communications among field crew members	Voice	Hand Signal

15. MEDICAL SURVEILLANCE AND QUALIFICATION

The following medical surveillance is required for on-site personnel working in the field. Medical surveillance qualification records and a medical data sheet will be kept on-site at RMA.

<i>Required medical surveillance:</i>	<i>Task-specific medical testing:</i>
<input checked="" type="checkbox"/> Hazardous Waste <input checked="" type="checkbox"/> Respirator Use <input checked="" type="checkbox"/> Hearing Conservation <input type="checkbox"/> Other:	RBC Cholinesterase (baseline) testing for all field personnel entering the South Plants Work Area.
<i>Location of qualification records and data sheets:</i>	<i>Exempted on-site personnel:</i>
TERRATHERM Operations Trailer	Personnel not entering the South Plants work area.

16. TRAINING

The following training is required for on-site personnel working in the field. Copies of training certificates and training records will be kept on-site at RMA.

<p><i>Required worker training:</i></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 40-hour General Site Worker <input checked="" type="checkbox"/> 8-hour Supervisor (Site Mgr. As a minimum) <input checked="" type="checkbox"/> 3-day On-the-job <input checked="" type="checkbox"/> 8-hour Refresher <input checked="" type="checkbox"/> Site-Specific Briefing (Task-Specific) <input checked="" type="checkbox"/> PMC Orientation <input checked="" type="checkbox"/> CRA Access Control Other:</p>	<p><i>Task-specific training requirements:</i></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Hazard communication <input checked="" type="checkbox"/> Task-specific briefing <input checked="" type="checkbox"/> Hearing conservation <input checked="" type="checkbox"/> South Plants Training <input checked="" type="checkbox"/> ECMMP (decontamination waste management) Other:</p>
<p><i>Location of training records:</i> TERRATHERM Operations Trailer</p>	<p><i>Exempted on-site personnel:</i> Personnel not entering the South Plants work area. (Electricians will be exempted from respirator certification since they will be evacuated from the area if air monitoring indicates respiratory protection is required)</p>

17. HAZARDOUS CHEMICALS

Hazardous chemicals (as defined in 29 CFR 1910.1200) to be brought or used on-site are identified below. This chemical inventory will be maintained up to date by the HSS, and Material Safety Data Sheet (MSDS) shall be maintained at the task or project support facilities and made available for review by site workers the PMC or RVO.

<i>Chemical Name</i>	<i>Amount</i>	<i>Location</i>	<i>Purpose</i>
Alconox	5 lb.	Decon. Station	Decontamination
Isobutylene	2.2 CF	Office trailer	Calibration
Miscellaneous CEM calibration gases	Cylinder bottles	Operation trailer	Calibration
Propane	(3) 1,000 gal tanks	Support Area	Supplemental fuel for oxidizer
Diesel fuel	1,000 gal tank (typ. only 200 gal)	Support Area	Fuel for emergency generator

18. REQUIRED FACILITIES AND EQUIPMENT

The following facilities and equipment are required for safe completion of work.

<i>Facility</i>	<i>Type:</i>	<i>Location:</i>
<input checked="" type="checkbox"/> Worker Showers/Lockers	Envirocon	7 th and D Street
<input checked="" type="checkbox"/> Restrooms	Portable	Support Area & Operations Trailer
<input checked="" type="checkbox"/> Supplementary Illumination	Portable	As necessary
<input checked="" type="checkbox"/> Emergency eyewash	Portable	Support Area & Operations Trailer
<input checked="" type="checkbox"/> First Aid Supplies	10-person	Support Area & Operations Trailer
<input checked="" type="checkbox"/> Fire Extinguishers	10 BC	Support Area & Operations Trailer
<input checked="" type="checkbox"/> Hazardous Materials Storage	Decontamination solvents will be stored in safety cans	Operations Trailer
<input checked="" type="checkbox"/> Spill Containment /Clean-up	Spill response kit/absorbents on site	Support Area
<input type="checkbox"/> Other: _____		

19. EMERGENCY ACTION AND RESPONSE

Personnel responsible for coordinating emergency situations during site activity are identified below. A site map showing assembly points and directions to the authorized medical facility is attached. Documented rehearsal and critique of this plan is required at least once during the task, or more often as necessary.

<i>Responsibility</i>	<i>Name</i>	<i>Phone Number(s)</i>
Task Emergency Coordinator	Joseph E. Sanders (or on-site H&S representative)	970-481-7851 (cellular)
Alternate Emergency Coordinator	Keith Bowden – TerraTherm, Inc.	(832) 439-4110
Type/Frequency of Rehearsal	One pre-job review; monthly reviews during project.	

If an emergency situation develops which requires evacuation of the work area, the following steps shall be implemented.

<i>Evacuation Step</i>	<i>Methods and comments:</i>
Notify affected workers	Voice/radio.
Evacuate to safe location	First refuge: graveled staging area. Second refuge: Corner of ingress road & 7 th Avenue or Fire and Emergency Services (FES) if so directed by SSO
Assemble and account for workers	On-site H&S officer will account for all personnel.
Notify Fire and Emergency Services	On-site H&S officer will notify FES and will contact FES for transfer of personnel to medical facility, if necessary.
Complete incident report	On-site H&S officer will complete the report.

Potential emergency situations and response actions are identified below.

<i>In case of:</i>	<i>Response actions:</i>
Injury or illness	Administer first aid as necessary; decon or double Tyvek®; Notify FES for transport to hospital;
Chemical exposure	Remove from exposure; administer first aid if necessary; decontaminate the victim or double Tyvek®, and notify FES for transport to hospital if necessary. Follow-up medical exam.
Fire or explosion	Notify FES; evacuate personnel if necessary; attempt extinguishment IF TRAINED TO DO SO.
Material Spill or Release	Remove/evacuate personnel; control if possible; barricade spills; contact FES and notify PMC spill coordinator/Environmental Compliance Group.
Adverse weather	Remove personnel from the Exclusion Zone; decontaminate; communicate with PMC and the FES; evacuate if necessary.
Underground Utility Line Closure	Complete PMC Line Breaking Checklist (Figure 16.5 of PMC HASP) prior to start of work. Follow procedures outlined in CCP and ECMMP to control/contain residual liquids during breaching & plugging of existing underground utility lines. In the event of an uncontrolled release or chemical exposure, follow emergency procedures outlined above.

20. APPROVALS

This task-specific HASP has been reviewed and accepted for work at RMA.

<i>Title/Organization</i>	<i>Printed name:</i>	<i>Signature:</i>	<i>Date:</i>
Task Site Supervisor	Keith Bowden		
Task Health and Safety Supervisor	Joseph E. Sanders		
PMC Project Manager	Ron Versaw		
PMC Health and Safety Manager	Andy Strickland		

21. ATTACHMENTS

Applicable attachments to the task-specific health and safety plan are identified below.

<i>Attachment Number:</i>	<i>Title:</i>
A	Activity Hazard Analysis
B	Safe Work Practices or Procedures <ul style="list-style-type: none"> • Hazard communication program • Respiratory protection program, • Lockout/tagout program, • Excavation safety procedures • Fall protection program • Environmental Drilling • Heat & cold stress prevention • Noise (Hearing Conservation)
C	Material Safety Data Sheets
D	Site Access Map (showing support facilities, route to designated medical facility and location of Fire/EMS station) – Refer to Design Drawing C-104 (Site Access Plan) Hex Pit Site Map (showing site layout, rally points and exclusion zone) – Refer to Design Drawing C-106 – (General Site Plan)

ATTACHMENT A

ACTIVITY HAZARD ANALYSIS


ATTACHMENT B

SAFE WORK PRACTICES & PROCEDURES

Includes the following:

- Hazard Communication Program (SOP 5.1)
- Respiratory Protection Program (SOP 8.1),
- Noise (Hearing Conservation) (SOP 10.2)
- Heat & Cold Stress Prevention (SOP 10.3 & 10.4)
- Excavation Safety Procedures (SOP 11.1)
- Environmental Drilling (SOP 11.5)
- Fall Protection Program (SOP 11.7)
- Lockout/Tagout Program (SOP 11.8)

Procedurer for beskyttelse mod luftbåren eksponering

 TerraTherm, Inc. – Standard Operating Procedure			
SOP #	TT-002	Rev. #	0
NAME	Respiratory Protection Program	Effective Date	
		Approved By:	

Bilag E: Procedurer for beskyttelse mod luftbåren eksponering

Respiratory Protection Program

1. **Purpose:** TerraTherm has determined that its employees may be exposed to hazardous substances on job sites. These hazards may include dusts, fumes, mists, gases and vapors. The purpose of the respiratory protection program is to identify those routine and non-routine tasks that may expose a worker to a respiratory hazard and to mandate the use of work-safe procedures for these tasks so that we can ensure that TerraTherm employees are not exposed to these respiratory hazards.
2. **Scope and Applicability:** The Respiratory Protection Program applies to any person that is working on or visiting a TerraTherm job site. The Respiratory Protection Program outlines the three work-safe procedures as described in Section 3.0 that TerraTherm uses to control our employees', subcontractors', and visitors' exposure to respiratory hazards.
 - 2.1 The Respiratory Protection Program applies to **all** TerraTherm site staff, subcontractors, and visitors who enter the site exclusion zone as defined in the site-specific health and safety plan.
 - 2.2 This program also applies to all TerraTherm site staff, subcontractors, and visitors who may be exposed to hazardous substances outside of the exclusion zone during a non-routine occurrence.
3. **Work-Safe Procedures:** Work-safe procedures are mandatory and are used to protect TerraTherm employees, subcontractors and visitors from exposure to respiratory hazards.
 - 3.1 **Ventilation-** Adequate ventilation, when appropriate, is the preferred work-safe procedure to protect employees from exposure to respiratory hazards. Adequate ventilation can take the form of supplied oxygen in an oxygen-deprived atmosphere to running ventilation fans in trenches or in confined spaces to guarantee the dilution of unsafe respiratory hazards in the atmosphere. Adequate ventilation can also be a safer work procedure than that of wearing Respiratory Protective Equipment as wearing Respiratory Protective Equipment can sometimes impair one's vision, hearing or motor skills.
 - 3.2 **Exclusion Zones-** Every TerraTherm site health and safety plan outlines the *Site-Specific Exclusion Zone*.
 - 3.2.1 The Site-Specific Exclusion Zone is a restricted area where only OSHA 40 HR trained employees, subcontractors and visitors who have attended the site's *Daily Health and Safety Briefing* and have signed the *Daily Health and Safety Sign-In Form* are allowed to enter.

3.2.2 the exclusion zone is delineated by caution tape or safety cones so that any individuals who are untrained will not be exposed to contamination.

3.2.2.1 the exclusion zone varies from site to site and the boundaries of the zone can vary from phase to phase on the job site depending on what is outlined in the site's health and safety plan. All personnel entering these areas must wear the prescribed level of protective equipment as outlined in the site-specific health and safety plan.

3.3 Respiratory Protective Equipment

3.3.1 As we currently work in fixed locations with known contaminants, TerraTherm sites are operating with **Level D** conditions for protection with potential to upgrade to Level C conditions for protection.

3.3.1.1 Level D is defined as the use of normal work uniform, but can include splash protection, chemical resistant gloves, face shield and boots but it *does not* include the use of any type of respiratory protective equipment.

3.3.1.2 Level C conditions assume that no IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations) dermal or inhalation threats exist, that all contaminants are known, that the air purifying respirator requirements are met as oxygen levels are known, and that no thermal hazards exist.

3.3.2 TerraTherm supplies its employees with full- and half-face **Air Purifying Respirators** that have been ordered specifically for the known contaminants on each site. Each TerraTherm employee is trained, fit-tested and medically evaluated as outlined in section 4.0 of this Respiratory Protection Program for the use of **North**[®] brand full- and half-face respirators.

3.3.3 Currently, respirator use is not being mandated for any routine site tasks. Respirator use has been mandated for any non-routine occurrences where exposure limits above those that are outlined in the site-specific health and safety plans have been recorded.

4. **Implementation:** The following sections 4.1-4.4 are intended for use by TerraTherm employees only. All site subcontractors and visitors who enter the site-specific exclusion zone must provide his/her own respirators and respirator cartridges in accordance with the known contaminants for each site as listed in the site-specific health and safety plan. Furthermore, each subcontractor or visitor providing his/her own respirator must provide records of medical evaluations and fit testing records to the site supervisor to be kept onsite. The subcontractors and visitors providing their own respirators must also be responsible for all respirator cleaning, maintenance and storage. *In the event that a non-routine occurrence occurs, only TerraTherm employees who have been OSHA 40 HR trained and fit tested are allowed to enter the exclusion zone. All other TerraTherm employees, subcontractors, or visitors must exit the exclusion zone.*

4.1 Medical Evaluation

4.1.1 All employees who are working on a TerraTherm site must have had a physical examination at an occupational health center. During this physical examination, a

physician or other licensed health care professional, must determine the ability for the TerraTherm employee to wear a respirator prior to being fit tested for or wearing a respirator for the first time.

4.2 Fit Testing

4.2.1 Fit testing is mandatory for any site personnel. The fit test is completed during an employee's occupational health physical, or the TerraTherm Safety Manager performs the fit test. Each employee is required to have documentation on file at the job site noting his/her respirator make/model/size.

4.3 Record Keeping

4.3.1 Fit testing records must be kept onsite for all employees, subcontractors and visitors who may work in the exclusion zone and therefore are required to be fit tested for respiratory protective equipment.

4.3.1.1 Fit testing records must include the name of the individual, the statement: "(Name) has been trained, fitted and medically evaluated to use the respirator(s) indicated."

4.3.1.2 The documentation must include the type of respirator, the make and model, the method of fit testing and the test results, the test date and tester's name, and finally, the documentation must include the fit test expiration date (customarily 1 year from the original test date).

Any non-routine event that transpires and requires the use of respiratory protective equipment should be classified as an "incident" and both an Accident Investigation and Report Form must be filled out for this event.

4.4 Maintenance

4.4.1 Each site health and safety manager must inspect respirators monthly to ensure their proper maintenance and care.

4.4.1.1 **Visual Inspection-** After each respirator use or monthly, the site safety manager must visually inspect the respirator for any signs of cracking, deterioration or defective parts. Any signs of wear must be fixed before any respirator is reissued. ***The manufacturer or a trained technician must conduct any repair to reducing or admission valves, regulators, or alarms.***

4.4.1.2 **Cleaning the Respirator-** Non-routinely used respirators must be cleaned and sanitized as recommended by the manufacturer after each use by the wearer. The cartridges must be replaced after each use for non-routinely used respirators. Routinely used respirators must be cleaned and sanitized periodically by the respirator wearer as recommended by the manufacturer. Cartridges on routinely used respirators must be replaced periodically.

4.4.1.3 **Storage-** Respirators should be stored in a cool dry place away from direct sunlight. The respirators should be kept in a quickly accessible and clearly

marked location. The respirator should be stored so that the facepiece and exhalation valves should be in a normal position and not be crushed.

DRAFT

DRAFT

Internationale ISTD-relaterede patenter og opfindelser

Bilag F: Internationale ISTD-relaterede patenter og opfindelser

U.S. PATENTS, PATENTS PENDING AND ISTD INVENTION DISCLOSURES

U.S. Patents

Patent 4,984,594 Vacuum method for removing soil contamination utilizing surface electrical heating, Vinegar, H.J. and Stegemeier, G.L., issued Jan.15, 1991.

Patent 5,076,727 In situ decontamination of spills and landfills by focussed microwave/radio frequency heating and a closed-loop vapor flushing and vacuum recovery system, Johnson, P.C., Otermat, A.L., and Chou, C.C., issued Dec. 31,1991.

Patent 5,114,497 Soil decontamination, Johnson, P.C., Colthart, J.D., Otermat, A.L., Weingaertner, D.A., Chou, C.C., Byers, D.L., Stearns, S.M., Marsden, Jr., A.R., and Deeley, G.M., issued May 19, 1992.

Patent 5,190,405 Vacuum Method for Removing Soil Contaminants Utilizing Thermal Conduction Heating, Vinegar, H.J., Stegemeier, G.L., De Rouffignac, E. P., Chou, C.C., issued March 2, 1993.

Patent 5,221,827 Heater blanket for in-situ soil heating, Marsden, Jr., A.R., Otermat, A.L., Weingaertner, D.A., Johnson, P.C., Dicks, L.W.R., and Wilde, H.B., issued June 22, 1993

Patent 5,229,583 Surface Heating Blanket for Soil Remediation, van Egmond, C.F., Carl, Jr., F.G., Stegemeier, G.L., and Vinegar, H.J., issued July 20, 1993.

Patent 5,244,310 In-Situ Soil Heating Press/Vapor Extraction System, Johnson, P.C., issued Sept. 14, 1993.

Patent 5,271,693 Enhanced deep soil vapor extraction process and apparatus for removing contaminants trapped in or below the water table, Johnson, P.C., Weingaertner, D.A., Dicks, L.W.R., Otermat, A.L., and Marsden, Jr., A.R., issued December 21, 1993.

Patent 5,318,116 Vacuum method for removing soil contaminants utilizing thermal conduction heating, Vinegar, H.J., Stegemeier, G.L., de Rouffignac, E.P., and Chou, C.C., issued June 7, 1994.

Patent 5,553,189 Radiant plate heater for treatment of contaminated surfaces, Stegemeier, G.L., Vinegar, H.J., and Carl, Jr., F.G., issued September 3, 1996.

Patent 5,656,239 Method for Recovering Contaminants from Soil Utilizing Electrical Heating, Stegemeier, G.L., and Vinegar, H.J., initially filed October 27, 1989, issued August 12, 1997.

Patent 5,660,500 Enhanced deep soil vapor extraction process and apparatus utilizing sheet metal pilings, Marsden, Jr., A.R., Weingaertner, D.A., Dicks, L.W.R., Otermat, A.L., and Johnson, P.C., issued August 26, 1997.

Patent 5,674,424 Thermal heating blanket in-situ thermal desorption for remediation of hydrocarbon-contaminated soil, Iben, I.E.T., Edelstein, W.A. Sheldon, R.B. Blaha, S.R., Silverstein, W.B., Scatena, C.R., and Brown, G.R., issued October 7, 1997.

Patent 5,997,214 Remediation Method, de Rouffignac, E.P. and Vinegar, H.J., issued December 7, 1999.

Patent 6,102,622 Remediation Method, Vinegar, H.J., and de Rouffignac, E.P., issued August 15, 2000.

Patent 6,419,423 Method for remediating near-surface contaminated soil, Vinegar, H.J., and de Rouffignac, E.P., and Bielałowicz, L.J., issued July 16, 2002.

Patent 6,485,232 Low Cost, Self Regulating Heater for Use in an In Situ Thermal Desorption Soil Remediation System, Vinegar, H.J., and Stegemeier, G.L., issued November 26, 2002.

Patent 6,543,539 Perforated Casing Method and System, Vinegar, H.J., and Stegemeier, G.L., issued April 8, 2003.

Patent 6,632,047 Heater Element for Use in an In Situ Thermal Desorption Soil Remediation System, Vinegar, H.J., and Stegemeier, G.L., issued October 14, 2003.

Patent 6,824,328 Vapor Collection and Treatment of Off-Gas from an In Situ Thermal Desorption Soil Remediation, Vinegar, H.J., and Stegemeier, G.L., issued November 30, 2004.

Patent 6,854,929 Isolation of Soil with a Low Temperature Barrier Prior to Conductive Thermal Treatment of the Soil, Vinegar, H.J., and Stegemeier, G.L., issued February 15, 2005.

Patent 6,881,009 Remediation of Soil Piles Using Central Equipment, Stegemeier, G.L., Vinegar, H.J., Baker, R.S., and Bierschenk, J.M., issued April 19, 2005.

Patent 6,951,436 Thermally Enhanced Soil Decontamination Method, Stegemeier, G.L., Vinegar, H.J., and Rouffignac, E.P.de, issued Oct. 4, 2005.

Patent 6,962,466 Soil Remediation of Mercury Contamination, Vinegar, H.J., and Stegemeier, G.L., issued Nov. 8, 2005.

US Patents Pending:

U.S. Serial No. 09/080,684 Remediation Method

U.S. Serial No. 10/438,779 Soil Remediation Using Heated Vapors. Application Published as Publication No. US-2004-0228690.

U.S. Serial No. 10/438,780 Soil Remediation With Heated Soil. Application Published as Publication No. US-2004-0228689.

ISTD Inventions and Improvements described in the Following Invention Disclosures:

5119-05100 (Shell) ISTD Vapor Collection with Vertical Conduits and Horizontal Surface Paths

5119-05200 (Shell) Horizontal Wells for ISTD

5119-05600 (Shell) Tubular Heating Arrangement for a Thermal Oxidizer

5119-05900 (Shell) A Regenerative Thermal Oxidizer with a Tetrahedral Flow Configuration

Væsentligste patenter for ISTD- anvendelse i Danmark

Bilag G: Væsentligste patenter for ISTD-anvendelse i Danmark

FILED AND/OR GRANTED INTERNATIONAL PATENT APPLICATIONS (i.e., OUTSIDE THE USA)

Title: Remediation Method

Inventors: Stegemeier, G.L., Rouffignac, E. P. de, Vinegar, H. J.

Abstract: A method is provided to remove volatile contaminants from a contaminated volume of earth, the contaminated volume lying above a non-contaminated layer of earth, the method including the steps of: penetrating the contaminated volume with at least one wellbore so that a wellbore penetrates the contaminated volume and the non-contaminated layer; applying heat from the wellbore within the non-contaminated layer to the non-contaminated layer until the temperature of a substantial portion of the noncontaminated layer is about the boiling point of liquids within the non-contaminated layer; and applying heat from the wellbore within the contaminated volume to the contaminated volume wherein the temperature of the contaminated volume rises to about the boiling point of liquids in the contaminated layer after a substantial portion of the non-contaminated layer is about the boiling point of water within the non-contaminated layer at the pressure of the non-contaminated layer.

Country	Filed	Appl. No.	Published	Publ. No.	Granted	Patent No.	Expires
Australia	04-Jan-2000	82151/98			28-Sep-2000	720947	03-Jun-2018
Austria	21-Oct-1999	98932146.8			14-Aug-2002	E222147	03-Jun-2018
Belgium	21-Oct-1999	98932146.8			14-Aug-2002	1011882	03-Jun-2018
Brazil	03-Dec-1999	PI9809922-1					
Canada	04-Nov-1999	2289080					
China	02-Dec-1999	98805738.7	05-Jul-2000	1259062A	01-Aug-2003	98805738.7	03-Jun-2018
Czech Republic	02-Dec-1999	PV4320-99			07-Feb-2005	294883	03-Jun-2018
Denmark	21-Oct-1999	98932146.8			14-Aug-2002	1011882	03-Jun-2018
Ireland	21-Oct-1999	98932146.8			14-Aug-2002	1011882	03-Jun-2018
France	21-Oct-1999	98932146.8			14-Aug-2002	1011882	03-Jun-2018
Great Britain	21-Oct-1999	98932146.8			14-Aug-2002	1011882	03-Jun-2018
Germany	21-Oct-1999	98932146.8			14-Aug-2002	P69807238.3-08	03-Jun-2018
Hungary	03-	P0003002					

Bilag G

	Dec-1999						
Indonesia	03-Dec-1999	W19991522			20-Jun-2002	ID0008181	03-Jun-2018
Italy	21-Oct-1999	98932146.8			14-Aug-2002	1011882	03-Jun-2018
Japan	02-Dec-1999	501597/99					
South Korea	02-Dec-1999	7011302/1999					
Mexico	25-Nov-1999	9910909			12-Sep-2003	216411	03-Jun-2018
Netherlands	21-Oct-1999	98932146.8			14-Aug-2002	1011882	03-Jun-2018
New Zealand	01-Nov-1999	500724			10-Jan-2002	500724	03-Jun-2018
Poland	03-Dec-1999	P337202					
Russia	24-Dec-1999	19990179			25-Jun-2001	001706	03-Jun-2018
Singapore	03-Nov-1999	9905274-8			19-Mar-2002	68767	03-Jun-2018
Slovakia	29-Nov-1999	PV1624-99			18-Jul-2003	283577	03-Jun-2018
Spain	21-Oct-1999	98932146.8			14-Aug-2002	1011882	03-Jun-2018
Sweden	21-Oct-1999	98932146.8			14-Aug-2002	98932146.8	03-Jun-2018

Bilag G

Title: Thermally Enhanced Soil Decontamination

Inventors: Rouffignac, E. P. de, Stegemeier, G.L., Vinegar, H. J.

Abstract: A method is provided to remove contaminants from contaminated soil. The method may include withdrawing vapors from a vapor extraction well, estimating the amount of water vapor removed from the contaminated soil in the vapors being withdrawn from the vapor extraction well, and applying heat to the contaminated soil from a plurality of heater wells at a rate not greater than that which would vaporize the estimated amount of water vapor. The permeability of the soil may thereby increase by the application of heat. Six or more heat injection wells may be provided for each vapor extraction well, and the heat injection wells may be placed and energized in a regular pattern around the vapor extraction well, which may include multiple rings of heaters around each vapor extraction well.

Country	Filed	Appl. No.	Published	Publ. No.	Granted	Patent No.	Expires
Australia	14-Apr-2004	2002336664					
Brazil	22-Apr-2004	PI0213511-6					
Canada	07-Apr-2004	2462215					
Denmark	07-May-2004	02773912.7			13-Jul-2005	1467826	24-Oct-2022
EPC	07-May-2004	02773912.7	20-Oct-2004	1467826	13-Jul-2005	1467826	24-Oct-2022
France	07-May-2004	02773912.7			13-Jul-2005	1467826	24-Oct-2022
Great Britain	07-May-2004	02773912.7			13-Jul-2005	1467826	24-Oct-2022
Germany	07-May-2004	02773912.7			13-Jul-2005	P60205038.3-08	24-Oct-2022
Italy	07-May-2004	02773912.7			13-Jul-2005	1467826	24-Oct-2022
Japan	26-Apr-2004	2003-537842					
South Korea	23-Apr-2004	7006097/2004					
Mexico	20-Apr-2004	PA/a/2004/003712					
Netherlands	07-May-2004	02773912.7			13-Jul-2005	1467826	24-Oct-2022
Sweden	07-May-2004	02773912.7			13-Jul-2005	02773912.7	24-Oct-2022
Taiwan	24-Oct-2002	91124639	01-Dec-2003	564192	30-Mar-2004	192090	24-Oct-2022
Venezuela	24-Oct-2002	2071-02					

Title: Soil Remediation using Heated Vapors

Inventors: Stegemeier, G.L., Vinegar, H. J.

Abstract: Methods are provided for remediating contaminated soil. The methods may include collecting contaminated soil at a plurality of treatment sites. The contaminated soil at one or more of the plurality of treatment sites may be at least partially contained. Vapors produced from heating soil at one site may be used to heat contaminated soil at another site. A fluid directed to a portion of heated contaminated soil may accelerate heat transfer through the site of contaminated soil or through another site of contaminated soil. A method may include heating contaminated soil from more than one site at substantially the same time. Heating contaminated soil from more than one site at substantially the same time may include in situ and ex situ treatment at a common location.

PCT: WO 2004/103588

Country	Filed	Appl. No.	Published	Publ. No.	Granted	Patent No.	Expires
PCT	17-May-2004	PCT/US2004/015489	02-Dec-2004	WO2004/103588			

Title: Remediation of Mercury Contamination

Inventors: Stegemeier, G.L., Vinegar, H. J.

Abstract: An in situ soil remediation system may be used to remove or reduce levels of mercury contamination within soil. The soil remediation system may also remove or reduce levels of other contaminants within the soil. Mercury may be vaporized within the soil by a heating system. The vaporized mercury may pass through heated risers that elevate the vaporized mercury. After the vaporized mercury passes from the heated risers, the vaporized mercury may be allowed to cool, condense and flow downward to a treatment facility. Removing mercury from the soil as a vapor may provide an economical, safe and efficient way to remediate mercury contaminated soil.

Country	Filed	Appl. No.	Published	Publ. No.	Granted	Patent No.	Expires
Australia	08-Apr-2004	2002365145					
Brazil	22-Apr-2004	PI0213512-4					
Canada	06-Apr-2004	2463053					
EPC	07-May-2004	02803297.7	18-Aug-2004	1446239			
Japan	26-Apr-2004	2003-554356					
South Korea	23-Apr-2004	700609093/2004					
Mexico	20-Apr-2004	PA/a/2004/003716					

Bilag G

Title: Heater Element for Use in an In Situ Thermal Desorption Soil Remediation System

Inventors: Stegemeier, G.L., Vinegar, H. J.

Abstract: An in situ thermal desorption (ISTD) soil remediation system may be used to remove or reduce contamination within soil. Heat may be transferred to the soil from resistively heated, bare metal heater elements. The heater elements may be placed directly within the soil. Alternately, the heater elements may be suspended within casings. The heater elements may be conductive heaters, or the heater elements may be radiative heater elements. The ISTD soil remediation system may include temperature-resistant, chemical resistant, flexible conduits that transport off-gas removed from the ground to a treatment facility. A residence time of off-gas within the conduits may be sufficient to allow the off-gas to cool so that the off-gas may pass to a treatment facility through a manifold and piping made of polymeric material.

PCT: WO 01/78914

Country	Filed	Appl. No.	Published	Publ. No.	Granted	Patent No.	Expires
Australia	25-Oct-2002	56302/01			14-Oct-2004	774595	17-Apr-2021
Belgium	22-Oct-2002	01929575.7			13-Apr-2005	1272290	17-Apr-2021
Brazil	11-Oct-2002	PI0110050-5					
Canada	09-Oct-2002	2405612					
China	22-Nov-2002	01809975.0	10-Sep-2003	1441709A			
Denmark	22-Oct-2002	01929575.7			13-Apr-2005	1272290	17-Apr-2021
EPC	22-Oct-2002	01929575.7	08-Jan-2003	1272290	13-Apr-2005	1272290	17-Apr-2021
France	22-Oct-2002	01929575.7			13-Apr-2005	1272290	17-Apr-2021
Great Britain	22-Oct-2002	01929575.7			13-Apr-2005	1272290	17-Apr-2021
Germany	22-Oct-2002	01929575.7			13-Apr-2005	P60110056.5	17-Apr-2021
India	11-Oct-2002	01024/DEL/2002					
Japan	15-Oct-2002	2001-576205					
South Korea	12-Oct-2002	7013727/2002					
Mexico	11-Oct-2002	PA/a/2002/010069					
Netherlands	22-Oct-2002	01929575.7			13-Apr-2005	1272290	17-Apr-2021
New Zealand	18-Oct-2002	522078					

Eksperimentel design - Kemron (engelsk)

**THERMAL PESTICIDE STUDY
FOR THE CHEMINOVA PLANT IN DENMARK
TEST PLAN**

KEMRON developed the Denmark Thermal Pesticide Study scope of work in accordance with the information presented to KEMRON by TerraTherm. The treatability study, as outlined below, will be performed to identify buffering capacity, alkaline hydrolysis, and thermal treatment of the site materials. Specific compounds of concern include pesticides and mercury. The following sections of this scope of work present information regarding the protocols that will be followed in completing the treatability study.

The treatability study will be conducted on soils and waters provided by TerraTherm from the site located in Denmark. The treatability study, as outlined herein, will be performed in order to collect data for TerraTherm to characterize the site material's buffering capacity and potential to thermally treat contaminants. Throughout the course of this study KEMRON will complete the treatment protocols and sample extraction activities as stated in this test plan. Sample extracts and test waters will be shipped to Cheminova for sample analysis of pesticides and polar compounds, respectively. Mercury in the related soils will be tested at the KEMRON laboratory located in Marietta Ohio. Treatment effectiveness will be assessed by TerraTherm since KEMRON is not currently tasked with receiving the analytical data from the Cheminova analyses.

SAMPLE RECEIPT AND UNTREATED MATERIAL CHARACTERIZATION

As outlined by TerraTherm, KEMRON understands that one site ground water sample material and two site soil materials will be collected for treatability testing. Based on the anticipated scope of work outlined herein, KEMRON believes that one five-gallon bucket of each of the untreated site soils and one five-gallon bucket of the site groundwater will be sufficient to complete the treatability study as outlined.

Upon receipt, the untreated materials will be logged in and placed into refrigerated secure storage (maintained at a temperature of 4°C). Sample homogenization will follow material receipt, where instruction will be given from TerraTherm as to which of the soil materials to initially prepare for testing. Soil homogenization will include placing the chilled site soil into a stainless steel mixing basin followed by gentle mixing using low energy mixing techniques.

Once homogenization of the site soil is complete, representative aliquots will be collected for initial testing. The following tests will be performed on the untreated soil in accordance with the referenced test methods:

<u>Parameter</u>	<u>Method</u>
Moisture / Solids Content	ASTM D2216
Bulk Density	ASTM D2937
Dry Density	Calculated
Material pH	EPA Method 9045C
Solid Specific Gravity	ASTM D854
Porosity	Calculated
TOC	EPA Method 9060
CEC	TBD
Water Saturation	Calculated

All characterization tests will be conducted in general accordance with the specified methods and in direct accordance with KEMRON's Standard Operating Procedures (SOPs).

TEST I: BUFFERING CAPACITY

Test Materials

The materials necessary for testing include the following:

- 1N NaOH
- Stir Plate
- Stir Bar
- Beaker
- Burrett
- pH Meter

Site Sample Quantities

The site sample quantities necessary for testing include the following:

- 300g soil
- 100g water

Procedure

The buffering capacity of the site materials will be conducted on a composite sample developed by combining the site soil and groundwater at a ratio of 3:1 soil to groundwater, simulating potential site conditions. The test sample composite will be

placed on a laboratory magnetic stirrer to provide continuous mixing throughout the titration. A 1 Normal (N) solution of sodium hydroxide (NaOH) will then be added to the composite material in increments to be determined based on the change in material pH observed during testing. That is, a quantity of the base will be added to provide a measurable change without excessively increasing the material pH. At each NaOH addition, KEMRON will measure the material pH of the sample using an Orion bench-top pH meter. Once a stable reading has been accomplished, KEMRON will record the quantity of titrant added and the pH at each addition. This will be repeated until data is collected for a pH of 7, 10 and 12 which is the target range for the study; however, the titration will be completed until the pH exceeds 14. Based on the data collected from testing, KEMRON will determine the pH buffering capacity of the composited site materials (in particular, the base needed for increasing pH of the test composite to 7, 10, and 12).

TEST II: ALKALINE HYDROLYSIS TESTING

Alkaline Hydrolysis Testing Materials

The materials necessary for testing include the following:

- 1N NaOH
- Stir Plate
- Stir Bar
- Beaker
- Burette
- pH paper
- 1-L amber glass jars w/ septum caps
- Stainless steel stir rod
- Syringe / needle
- Stainless steel tubing
- Swagelok fitting
- Female quick connect
- 40 mil vials (quantity 28)
- Refrigerator (10°C)
- Oven (70°C)
- Pressure transducer
- Tedlar Bags (min 4)
- Water displacement apparatus
- Gas monitors
- pH paper

Sample Extraction Testing Materials

254

The materials necessary for sample extraction include the following:

- Extraction vials (4 soil + 4 water + 1 control for each = 10)
- 3.5% NaCl
- Isopropyl acetate (analytical grade)
- Shaker (end over end)
- 2-ml amber vials
- 25-ml amber vials

Site Sample Quantities

The site sample quantities necessary for testing include the following:

- Total soil quantities: 2736g
- Total groundwater quantities: 912g

Alkaline Hydrolysis Testing Procedure

Batch hydrolysis testing will be performed to evaluate the breakdown of pesticides under saturated conditions and the effects of temperature and pH on contaminant breakdown. During this phase of testing KEMRON will prepare four batch reactors. Each reactor will consist of a pre-cleaned 1-liter amber glass container, 600 grams of site soil and 200 grams of site groundwater. The test material inside each reactor will be thoroughly mixed, using stainless steel stir rods. Prior to testing, an aliquot of each reactor will be removed, mixed together to form one composite sample. This sample will be chilled for extraction per the method provided by TerraTherm and provided later in this document. The resulting extract will be forwarded to Cheminova for analytical testing. These “control” samples will be used to establish a baseline of contaminant concentrations in each reactor for determination of treatment effectiveness.

Following sampling of the control specimens, two of the reactors will be titrated to a pH of 10 standard units (s.u.), using 1N solution of NaOH. The other two reactors will have the unchanged ambient pH. Each reactor will then be capped using a screw on top equipped with a septum. The duration of the testing will occur in a dark environment.

As outlined in the Request for Proposal (RFP), each reactor will be monitored daily for off-gas production. In order to measure pressure buildup and to estimate the quantity and chemical make-up of off-gas generated from the test materials, each reactor will be equipped with a system to collect off-gas. This system will consist of a syringe type needle which will be inserted through the septum located in the cap of each reactor, and positioned into the headspace of each reactor. This needle will then be attached to stainless steel tubing using a SwageLok type fitting, and an airtight female quick

Bilag H

connect will be attached to the opposite end of the tubing. Finally, a tedlar bag will be quick connected to the system providing a closed system and a means to collect any pressurized off-gases.

Additionally, KEMRON has been tasked with daily pH monitoring of the test reactors. For pH monitoring, KEMRON will prepare 7 additional “mini reactors” for each of the four test specimens. These mini reactors will be prepared using the same protocol employed to develop the four main reactors; however, the quantities of site materials will be scaled down to 12g of soil and 4g of groundwater per reactor.

Testing will be initiated by placing one neutral (no pH adjustment) reactor and one reactor adjusted to a pH of 10, along with the appropriate pH mini reactors, into refrigeration maintained at a temperature of 10°C. The remaining reactors and pH mini reactors will be placed into an oven maintained at a temperature of 70°C. Throughout the 7-day test duration, KEMRON will evaluate pressure buildup by visual observation of the tedlar collection bag. If the tedlar bag indicates pressurized gases have evolved (i.e., the bag has inflated) the tedlar bag will be disconnected and a pressure transducer will be connected to the reactor. Note, there is the possibility of excessive pressure build up and possible rupturing of the reactor septum and therefore pressure monitoring will be conducted on a limited basis. That is KEMRON anticipates that pressure monitoring will be performed until a maximum of 5 pounds per square inch (psi) is observed, equilibrium is reached, or a monitoring duration of two hours is accomplished, whichever occurs first. Equilibrium will be determined by a steady pressure reading.

Following pressure monitoring the transducer will be detached from each reactor and a Tedlar sampling bag will be attached to the quick connect fitting, assuming that pressurized gases are building up. In the event that substantial off-gas production is observed, multiple Tedlar bags will be utilized. Off-gas collection will be conducted until the beginning of the following work day. At the conclusion of each off-gas collection event, KEMRON will estimate the volume of gas collected to be determined using water displacement. Additionally, KEMRON will evaluate chemical parameters including diethyl sulfide, H₂S, SO₂, SO, H₂, CH₄, NO, NO₂, O₂, CO, and CO₂. Phosgene gas will be analyzed by collecting the sample in a Tedlar bag and then bubbling the sample through toluene. The toluene extract will then be shipped to a laboratory as directed by TerraTherm. Monitoring of the chemical parameters listed above will be performed on the off-gas contained in the Tedlar bags using various real-time gas meters and/or Dragger gas analyzing tubes. In the event that KEMRON observes limited or no off-gas production, analyses will not be performed or another method of analysis will be completed (i.e., headspace analysis).

In addition to off-gas monitoring, KEMRON will daily evaluate any change in material pH by testing one pH mini reactor for the corresponding main test reactor. Note that if KEMRON observes significant pressure build up in the main reactors, each pH test vial will be vented as necessary.

Following the 7-day test duration, each test reactor will be chilled to approximately 4°C. Aliquots of soils from each chilled test reactor will then be removed and extracted using procedures provided by TerraTherm. The resulting extracts will be shipped to Cheminova for analytical testing. Additionally, the water fraction will be sampled and then frozen for later shipment to Cheminova for analysis of polar compounds. Additional soil samples will be collected for mercury analysis.

Sample Extraction Procedure

1 gram of the chilled material is pulled from the more solid portion of the study material.

Add 10 ml of 3.5% NaCl

Add 2 ml of isopropyl acetate (IPA)

Shake end over end for 1 hour

Remove IPA extract (~2 ml) and store with Teflon-lined septa in a cold dark location

TEST III: THERMAL TREATMENT TESTING

Thermal Treatment Testing Materials

The materials necessary for testing include the following:

Reactor w/ gasket

Stainless steel lines

Temperature monitors

Muffle furnace

Drying oven

Stainless steel coil

Swagelok fittings

Heating tape

Flow meters (min 3)

Compressor

Steam container

Desiccator

Flex tubing

Quick connect pair

Pumps

Ice water bath
Grandulated Carbon
Flasks (2)
Condenser (1)
Steam source

Material Quantities

Total soil quantities: 3375g

Total groundwater quantities: 1125g + 70C treatment quantities

Thermal Testing Procedure

Thermal treatment testing will be performed in order to evaluate the potential destruction of pesticides under elevated temperatures. Treatment will be conducted at temperatures including 70, 100, and 300 °C. Testing will be conducted on a combined site material prepared at a soil to groundwater ratio of 3:1. No pH adjustments will be made. Treatment at a temperature of 70 °C will include passing approximately 10 pore volumes of the site groundwater through the test soil over a period of approximately 7 days. Prior to introducing the groundwater through the soil reactor, KEMRON will heat the site water to 70 °C. Similarly, the 100 °C treatment will include passing approximately 10 liters of deionized (DI) water, in the form of steam, through the test soil. Note that both the heated site groundwater and the steam will be introduced to the soil through a manifold placed within the site soil material.

Because of the elevated moisture content of the test material KEMRON anticipates performing thermal testing using a stainless steel mixing box rather than a cylinder or column. Immediately prior to adding the untreated site composite material to the reactor, aliquots of the test material will be collected and chilled for extraction using protocol provided by TerraTherm. Extracts will be shipped to Cheminova for analysis. Additionally, untreated soil will be forwarded to KEMRON's analytical laboratory located in Marietta, Ohio for mercury analyses.

A stainless steel reactor measuring approximately 8 inches in length, 4 inches in width, and 3 inches deep will be used to hold the untreated composite material during heating. The thermal reactor will be closed with a stainless steel lid and gasket. The lid is fitted with ports for temperature monitoring as well as ports for inflow and outflow water/gas lines. KEMRON anticipates that approximately 1,500 grams of material will be added to the reactor for each test.

The test set-up will include placing the reactor with the site composite into a suitable oven (i.e., muffle furnace or drying oven). A second drying oven will be used to heat site groundwater and/or generate steam, which will be injected into the soil reactor for the 70 and 100°C, respectively. The steam will be generated from deionized water. Heating of the water will be accomplished by pumping through a stainless steel coil placed inside of the drying oven. The oven temperature will be set to heat the applicable water to the target temperature of the soil treatment being performed (i.e., 70 or 100°C). The applicable water will be continuously pumped through the coil and heated, then will exit the oven via stainless steel tubing which will be connected to a SwageLok connection located on the top of the thermal reactor in the oven. To ensure delivery of the applicable water/steam at the appropriate temperature, any tubing located outside of either oven will be wrapped in heating tape. The temperature of the heating tape will be adjusted to maintain the target soil temperature (i.e., 70 or 100°C).

70°C Testing

The reactor with a target temperature of 70°C will receive approximately 10 pore volumes of site groundwater over a period of 7 days, with a relatively uniform flow rate. Note that the quantity of water required to achieve 10 pore volumes will be determined based on the actual quantity of the composite material utilized.

100°C Testing

The reactor with a target temperature of 100°C will be heated slowly over a 24-hour period to 100°C, followed by the injection of the 2 pore volumes of steam generated from clean water. The steam will be injected as uniformly as practical by heating the coil in a separate oven to approximately 110°C as discussed earlier. The flow of the approximately 2 pore volumes will occur over a period of 7 days. Note that the quantity of water required to achieve 2 pore volumes of steam will be determined based on the actual quantity of the composite material utilized.

300°C Testing

Water or moisture will be not introduced into the 300°C reactor during testing; however the test reactor will initially produce steam from the testing material until the material becomes dry.

Treatment at each temperature will be conducted for a period of 7 days. Outflow stainless steel lines are positioned at the top of the reactor for off-gassing or water movement out of the reactor. This outflow tubing will exit the oven and be connected to a condensing tube, as necessary, and collection flask. Throughout the treatment

process, KEMRON will record the test soil and oven temperatures at 15 minute intervals using a DigiSense Dual Thermocouple Datalogger. If feasible, gas analysis will occur when thermal treatment overlaps with the gas monitoring for the batch hydrolysis study.

At the conclusion of each thermal test the soil reactor will be removed from the oven and chilled to 4°C. The chilled treated material will then be extracted using the previously mentioned protocol and the extract will be forwarded Cheminova for testing. An additional aliquot of treated soil will be submitted to KEMRON's analytical laboratory for mercury analysis.

REPORTING

Throughout the project, KEMRON will provide interim updates via facsimile or electronic mail as data is received. Detailed discussion of all protocols utilized during the study will be presented, as well as any conclusions and recommendations based on the study. Upon completion of the project, a detailed final report will be developed including thorough discussions of all testing protocols and the results of all analyses/testing performed by KEMRON. Any information relative to performance of the treatability study will be presented, as well as recommendations and conclusions developed based on this information.

Rapport over Treatability forsøg – Kemron (engelsk)

DENMARK THERMAL PESTICIDE STUDY

**HARBOØRE, DENMARK
KEMRON PROJECT #: SE0168**

September 11, 2006

Revision 02

Prepared for:

Mr. Gorm Heron
TerraTherm, Inc.
356B Broad Street
Fitchburg, MA 01420

Prepared by:



1359-A Ellsworth Industrial Blvd
Atlanta, GA 30318
404-636-0928 (Phone)
404-636-7162 (Fax)

Submitted By:

Reviewed By:

Chana Gilzenrat
ATG Project Manager

Kelly Clemons
ATG Program Manager

Table of Contents

1.0	INTRODUCTION	1
1.1.	Scope of Work	1
1.2.	Report Organization	1
2.0	UNTREATED MATERIAL RECEIPT AND HANDLING	2
2.1.	Untreated Material Receipt	2
2.2.	Material Characterization	2
2.3.	Results of Untreated Characterization Testing	3
3.0	BUFFERING CAPACITY	4
4.0	HYDROLYSIS BATCH TREATMENT	5
5.0	THERMAL TESTING	8
5.1.	70°C Test	8
5.2.	90°C Test	9
5.3.	100°C Test	9
5.4.	300°C Test	9
5.5.	Discussion	9
6.0	DISCLAIMER	11

LIST OF TABLES

TABLE 1 – Untreated Material Characterization

TABLE 2 – Titration Data

TABLE 3 – Hydrolysis Batch Study – pH Data

TABLE 4 – Hydrolysis Batch Study – Off-Gas Monitoring

TABLE 5 – Thermal Treatment – Total Mercury Analyses

LIST OF FIGURES

FIGURE 1 – 70°C Test – Temperature Monitoring

FIGURE 2 – 90°C Test – Temperature Monitoring

FIGURE 3 – 100°C Test – Temperature Monitoring

FIGURE 4 – 300°C Test – Temperature Monitoring

LIST OF APPENDICES

APPENDIX A - CHAIN OF CUSTODY

APPENDIX B - LABORATORY REPORTS

APPENDIX C - PICTURES

1.0 INTRODUCTION

KEMRON Environmental Services, Inc. (KEMRON) has developed this report as a presentation of the final results of the bench-scale treatability study conducted for TerraTherm, Inc. (TerraTherm). The study was conducted on a material sampled from the Cheminova Plant (the site) located in Harboøre, Denmark. Cheminova is a manufacturer of chemicals used in the agriculture industry, including pesticides, herbicides, and fungicides. The treatability study was performed in an effort to evaluate different potential full-scale remediation options selected by TerraTherm. The approaches included hydrolysis and thermal treatments designed to reduce concentrations of contaminants in soil material sampled from the site.

1.1. Scope of Work

The objectives of the treatability study are 1) characterize the physical properties of the site materials; 2) determine the buffering capacity of the site materials, 3) evaluate degradation of the site contaminants via hydrolysis, and 4) evaluate low temperature thermal treatment of the site materials.

1.2. Report Organization

The Denmark Thermal Pesticide Study was completed in a phased approach. The following outlines the study phases:

Untreated material characterization
Buffering Capacity Determination
Hydrolysis Batch Study
Thermal Treatment Evaluations

Throughout the course of this study KEMRON performed testing on aliquots of materials being evaluated. Testing was performed at KEMRON's Applied Technologies Group facilities located in Atlanta, Georgia, and KEMRON's analytical laboratory located in Marietta, Ohio. The data corresponding to these evaluations are presented in summary tables attached to this text. Complete data reports, where applicable, are included in Attachment B. Note that the majority of analytical testing conducted on the study materials was performed by Cheminova and are not included in this report.

2.0 UNTREATED MATERIAL RECEIPT AND HANDLING

2.1. Untreated Material Receipt

On 3 May 2006 KEMRON received approximately 47.5 kilograms (kg) of soil and approximately 20 liters (L) of groundwater material from the site. The materials were delivered in multiple glass containers and represent samples from varying locations and depths at the site. Upon receipt, the site materials were logged into KEMRON's sample tracking system and placed in sec storage maintained at a temperature of 4°C. A copy of the chain of custody is presented as Appendix A.

Prior to initiating the treatability study, KEMRON developed a master soil composite using the most shallow soil materials as directed by Terratherm. Four containers identified as "5-6" were composited. The shallow soils were cooled and then combined in a stainless steel mixing basin and homogenized to ensure a uniform material for testing. Homogenization was performed by mixing the soil material, by hand, using stainless steel utensils until visually homogenous. For treatability testing, KEMRON typically removes oversized particles and debris larger than 0.5 inch in diameter in order to facilitate bench-scale testing. During homogenization, no oversized material was observed or removed from the untreated soil composite. Following homogenization, the site soil composite was placed into a secondary container and stored under cooled conditions for the tests.

2.2. Material Characterization

KEMRON collected representative aliquots of the untreated soil composite for characterization testing. The establishment of the baseline characteristics of the untreated samples is important for ensuring that the materials are similar to those expected at the site and for evaluating the effectiveness of treatments applied. The following testing was conducted on aliquots of the composite soil, after homogenization, in accordance with the referenced test methods:

<u>Parameter</u>	<u>Method</u>
Material pH	EPA Method 9045
Moisture Content	ASTM D2216
Bulk Density	ASTM D2937
Dry Density	Calculated
Solid Specific Gravity	ASTM D854
Water Saturation	Calculated
Porosity	Calculated
Total Organic Content	EPA Method 9060
Cation Exchange Capacity	EPA Method 9081

2.3. Results of Untreated Characterization Testing

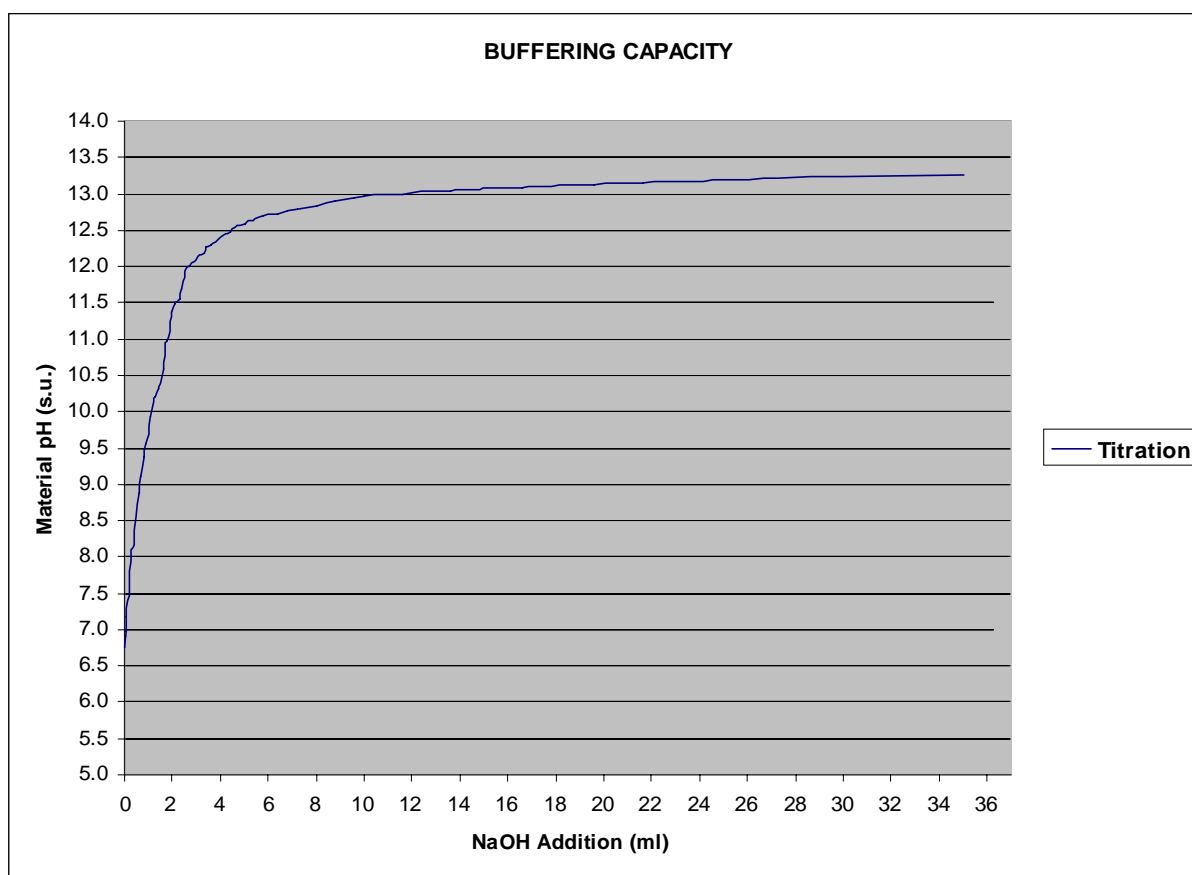
The results of untreated characterization testing performed by KEMRON are presented in **Table 1**. Complete laboratory data reports for all analytical testing performed by KEMRON in this study are included as Appendix B. The following is a summary presentation of **Table 1**:

TESTING PARAMETER	UNIT	UNTREATED COMPOSITE	UNTREATED GROUNDWATER
Material pH	s.u.	5.8	-
Moisture Content	%	19.07	-
Percent Solids	%	83.99	-
Bulk Density	lb/ft ³	122.3	-
Dry Density	lb/ft ³	102.7	-
Solid Specific Gravity	-	2.7*	-
Water Saturation	%	80.5	-
Total Organic Carbon	mg/kg	2740	-
Cation Exchange Capacity	meg/100g	<9.98	-
Porosity	%	39.0	-
Total Mercury	ppm	73.7	0.944

Complete tables including flagging definitions are included in the Tables section of this report.

3.0 BUFFERING CAPACITY

Upon completion of untreated material characterization testing, KEMRON performed a titration test of a slurry composed of a 3:1 ratio of site soil to site groundwater. This titration was conducted to estimate the buffering capacity of the site composite material. Specifically, 60 gram (g) of site composite soil and 20 grams (g) of site groundwater were mixed together in a beaker. The test slurry was titrated using a 1 normal (N) solution of sodium hydroxide (NaOH). Sodium hydroxide was added incrementally to the slurry using a 50 ml titration buret, and pH measurements were recorded at each addition. The following is a graphical presentation of the titration test:



4.0 HYDROLYSIS BATCH TREATMENT

KEMRON conducted the Hydrolysis Batch Treatment phase of the study on aliquots of the 3:1 site soil to groundwater slurry. Testing was conducted using four separate treatment parameters including the following:

- 1) decreased temperature (10 degrees Celsius (°C)) with no pH adjustment;
- 2) decreased temperature with the slurry adjusted to a pH value of 10 s.u. using NaOH;
- 3) increased temperature (70 °C) with no pH adjustment, and
- 4) increased temperature with the slurry adjusted to a pH value of 10.s.u.

Each of the four reactors was developed in 1 L amber glass jars equipped with a cap fitted with a Teflon septum. Additionally, the reactors were prepared with a sufficient volume to allow for minimal headspace, 600g of composite soil and 200g of groundwater. A portable refrigerator and drying oven were utilized to achieve the appropriate temperatures. Immediately prior to capping the reactors, KEMRON removed Time-0 aliquots of the materials for analytical testing. Specifically, analysis of the Time-0 materials will be the basis for assessing the effectiveness of hydrolysis treatment.

Testing was conducted for a period of approximately 7 days. Throughout testing, KEMRON monitored the pH of each test parameter using “mini” reactors. Specifically, KEMRON prepared 7 additional reactors for each test parameter, one for each day of the test duration. These “mini” reactors were developed in 40ml VOA vials using the protocol previously discussed. Each day the appropriate specimen was removed from testing and evaluated for material pH. The results of pH monitoring are presented in **Table 3**. The following is a summary of **Table 3**:

TABLE 3							
REACTOR SETUP PARAMETER	pH MONITORING RESULTS (s.u.)						
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
10 °C – no pH adjustment	6.00	6.50	6.50	6.50	7.50	6.50	6.80
10 °C – pH adjusted to 10 s.u.	10.50	9.50	9.50	10.50	8.50	8.52	8.52
70 °C – no pH adjustment	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.48	5.45
70 °C – pH adjusted to 10 s.u.	7.50	7.50	6.50	6.50	6.50	6.51	6.52

In addition to pH monitoring, KEMRON attempted to collect off-gas produced from treatment in Tedlar bags. To accomplish off-gas collection, a stainless steel needle was attached to a 1-liter Tedlar bag using SwageLok® compression fittings. The needles were then inserted into each reactor through the cap via the septum. It was anticipated that any off-gas created from the hydrolysis reaction would be collected in the Tedlar bags allowing for off-gas evaluations to be conducted via real-time gas monitors. However, it was observed that little or no off-gas was collected from any of the test materials. Due to this event, KEMRON performed off-gas monitoring activities within the available headspace of each reactor by connecting real-time gas meters to the stainless steel needle inserted through the septum.

Specific off-gas parameters evaluated in each reactor included volatile organics, hydrogen sulfide, sulfur dioxide, oxygen, lower explosive limit, sulfur monoxide, hydrogen, methane, nitric oxide, nitrogen dioxide, carbon monoxide, and carbon dioxide. In order to evaluate all of the parameters listed above, it was necessary to use several different gas detection meters as

outlined below. Note that sulfur monoxide was measured via Dragger detection tubes. Due to the fact that the gas meters operate by passing a continuous stream of air over specific sensors, it is suspected that the volume of gas contained within the headspace of the reactors may have been insufficient for complete and accurate measurements. This is noted in the summary data table associated with gas detection. Note that the evaluation of certain gases was not performed at all test intervals due to non-detected concentrations in the early stages of testing. Additionally, KEMRON was requested to monitor for phosgene gas, however, this parameter was not performed since positive pressure was not developed from the test reactors and due to the suspected insufficient gas generation in the headspace of the reactors. The results of off-gas monitoring are presented in **Table 4** attached to this text.

Target	Equipment	Method of sampling	Method of detection
Diethyl sulfide	MultiRAE	Pump / purge	Calibrated detector detecting both Diethyl and Dimethyl sulfide
Dimethyl sulfide	MultiRAE	Pump / purge	Calibrated detector detecting both Diethyl and Dimethyl sulfide
Hydrogen Sulfide (H ₂ S)	IAQRAE	Pump / purge	Calibrated detector
Sulfur Dioxide (SO ₂)	MultiRAE	Pump / purge	Calibrated detector
Sulfur Monoxide (SO)	Dragger Tube	Pump / purge	Color Change
Hydrogen Gas (H ₂)	RAIR49025	Pump / purge	Calibrated detector
Methane Gas (CH ₄)	IAQRAE	Pump / purge	Calibrated detector
Nitrous Oxide (NO)	VRAE	Pump / purge	Calibrated detector; if detected then interference from NO ₂ (~7% of detection)
Nitrogen Oxide (NO ₂)	VRAE	Pump / purge	Calibrated detector; if detected then interference from NO (~10% of detection)
Oxygen (O ₂)	IAQRAE	Pump / purge	Calibrated detector
Carbon Monoxide (CO)	IAQRAE	Pump / purge	Calibrated detector
Carbon Dioxide (CO ₂)	IAQRAE	Pump / purge	Calibrated detector

At the conclusion of testing, aliquots of the liquid fraction of each test material were removed for analytical testing at Cheminova. Additionally, KEMRON performed the client specified extraction procedure on the solids portion of the test materials. Specifically, the extraction procedure was performed using the following protocol:

1. 1.0 gram of the test soil was placed in a 40ml VOA vial.
2. 10ml of a 3.5% sodium chloride solution was then added to the vial.
3. 2.0ml of analytical grade isopropyl acetate was then added.
4. The vial was then capped and shaken for approximately 1 hour.
5. Each vial was allowed to settle for approximately 15 minutes.

6. The 2 ml of isopropyl acetate (the top layer of liquid) was removed via pipet and placed into a 2.0 ml amber glass vial.

Following completion of the extraction procedure, the liquid fraction and the soil extract from each reactor was forwarded to Cheminova for analytical testing. Due to complications during shipment, many of the sample extracts were lost due to breakage. Unextracted soil aliquots were then shipped to Cheminova for on-site extraction and analysis.

5.0 THERMAL TESTING

Thermal treatment testing was performed to evaluate the potential destruction of pesticides under elevated temperatures using hot water, steam, or heat alone. Specifically, thermal treatment was conducted at temperatures including 70, 90, 100, and 300 °C. Testing was conducted on the site materials prepared by combining the composite site soil and the site groundwater at a soil to groundwater ratio of 3:1. Because of the elevated moisture content of the test material, KEMRON performed thermal testing using a stainless steel box instead of the column which was proposed in the initial study design. Immediately prior to adding the untreated site composite material to the reactor, aliquots of the test materials were removed for analytical testing. Specifically, a portion of the Time-0 material was forwarded to KEMRON's analytical laboratory located in Marietta, Ohio for mercury analyses; and a fraction of the untreated test material was subjected to the project specific extraction method previously outlined in this text. This extract was then forwarded to Cheminova for additional analytical testing; however similar complications with the extract occurred as stated in section 4.0 of this report. Accordingly, soil aliquots were sent to Cheminova as stated in section 4.0 above.

As previously stated, a stainless steel reactor measuring approximately 8 inches in length, 4 inches in width, and 3 inches deep was used to hold the untreated composite material during heating. The thermal reactor was closed with a stainless steel lid equipped with a high pressure carbon gasket. The lid was fitted with ports for temperature monitoring as well as ports for inflow and outflow gas lines.

Prior to initiating thermal testing, the reactor with the site composite was placed into a Fisher Scientific Series 750 muffle furnace capable of reaching temperatures as high as 2,100 °F. Additionally, where necessary, a second drying oven was used to heat site groundwater or deionized water in a second reactor. The goal of the second drying oven/reactor system was to produce heated water or steam which was injected into the soil reactor. The following sections present the protocol used during each thermal investigation.

5.1. 70°C Test

The 70°C test was performed using a dual oven set-up. A drying oven was utilized to preheat groundwater which was pumped into the treatment reactor. The treatment reactor was placed into a Fisher Scientific brand muffle furnace. Both ovens were operated at a temperature of approximately 70°C. A reactor filled with groundwater from the site was placed into the drying oven for heating. A peristaltic pump introduced additional groundwater into the reactor at a rate of approximately 0.5 milliliters per minute (ml/min). A heated stainless steel line allowed the preheated groundwater to be transferred to the soil treatment reactor at a consistent temperature of approximately 70°C. This was accomplished by covering the stainless steel line with electrical heating tape adjusted to approximately 70°C. The water transfer was assisted with pressurized breathing air applied to the groundwater reactor. Pressure was applied at a rate of approximately 50 ml/min. Although air was not directly injected into the soil reactor, it is possible that a portion of the air may have acted as a carrier for the water. An off-gas system was utilized during treatment to remove vapors from the treatment reactor and to prevent potential harmful constituents from being introduced into the environment. This off-gas system was attached to a port in the top of the soil reactor which included a condenser, high volume vacuum pump and carbon scrubber. Treatment was conducted for a period of approximately 7 days. Throughout this test duration approximately 6 liters of groundwater were passed through the soil test reactor. At the conclusion of the treatment period the test system was

disassembled. The treated soil material was cooled and then extracted using the extraction method previously outlined. Additionally, aliquots of the treated soil material and condensate collected from testing were also submitted to KEMRON's analytical laboratory for total mercury analysis. As stated above, additional soil aliquots were collected and shipped to Cheminova for extraction and analysis due to loss of sample extract during the initial delivery.

5.2. 90°C Test

The 90°C test was completed as an additional test to the initial three thermal evaluations proposed. This occurred inadvertently due to difficulty with the thermocouple measuring the oven temperature which was made apparent at the conclusion of the test. After scrutinizing the temperature data, KEMRON concluded that the soil had been treated at an average temperature of approximately 90°C for a large portion of the treatment duration. Additionally, the temperature graph as well as the solids content indicate that the temperature was at or near 100°C towards the end of the test. The test set-up for the 90°C test was the same for the 70°C test. The treated material was subjected to the project specific extraction procedure, as well as total mercury analyses on the soil and condensate materials. As stated above, additional soil aliquots were collected and shipped to Cheminova for extraction and analysis due to loss of sample extract during the initial delivery.

5.3. 100°C Test

The 100°C test was performed in a similar manner and set-up to the 70°C test; however, rather than preheated groundwater, steam was pumped through the soil reactor. To produce steam, KEMRON injected deionized water via a peristaltic pump into a second reactor placed inside a drying oven operating at a temperature of approximately 120°C. Similar to other set-ups, breathing quality air assisted in the transfer of the steam to the soil reactor located inside the muffle furnace. The operating temperature of the muffle furnace was approximately 100°C. After the 7-day treatment period, the test reactor was disassembled and test material allowed to cool. The treated material was subjected to the project specific extraction method, and total mercury analysis. Additionally, an aliquot of the condensate material was also subjected to total mercury analysis. As stated above, additional soil aliquots were collected and shipped to Cheminova for extraction and analysis due to loss of sample extract during the initial delivery.

5.4. 300°C Test

Unlike the previous tests, the 300°C test was performed using a single oven. The soil reactor was placed inside a Fisher muffle furnace set at an operating temperature of approximately 305°C. Breathing quality air was introduced into the reactor at a rate of approximately 50 milliliters/min. As with the previous thermal evaluations, an off-gas condensing system was also utilized for this test. Following a 7-day retention period, the treated soil material was subjected to the project specific extraction method as well as total mercury analyses. As with the other treatments, an aliquot of the condensate was submitted for total mercury analysis. As stated above, additional soil aliquots were collected and shipped to Cheminova for extraction and analysis due to loss of sample extract during the initial delivery.

5.5. Discussion

As indicated by the temperature data for the 100°C test, the temperature of the soil did not stay consistently at 100°C but was off on an average of about 5%. Additionally, the treated soils collected at the conclusion of the test were wet. The design of the system was such that the steam was directed toward the bottom of the reactor containing the test material to ensure that steam percolated through the test sample. It is likely that the weight of the test material may have created additional pressure thus converting the steam into water in the lower portions of

the test material and then converting the water back to steam towards the top of the test material. There is further indication that this scenario may be the case since upon opening the reactor there was no standing water present.

Graphical presentations of temperature monitoring conducted during all thermal evaluations are included as figures attached to this text. Additionally, the results of total mercury analyses performed by KEMRON are included as **Table 5**. The following is a summary of **Table 5**.

TABLE 5					
SAMPLE ID	THERMAL TREATMENT TEMPERATURE	CONDENSATE COLLECTED	RESULTS		
			Treated Soil		Condensate
			Mercury (mg/Kg)	Solids Content (%)	Mercury (mg/L)
Control	-	-	42.9	77.5	-
70°C + GW	70°C	3111.85 g	86.5	84.5	0.00348
90°C + GW	90°C	5968.22 g	45.0	98.4	0.00593
100°C + Steam	100°C	7794.52 g	42.7	83.4	0.0120
300°C	300°C	420 g	6.0	99.6	0.718

Total pore volume was calculated to be 671.2 cc. Supporting data is attached in the Laboratory Reports section of this report.

6.0 DISCLAIMER

When performing treatability studies, KEMRON Environmental Services is typically provided with samples from a given site. These samples usually have been collected by site personnel and are intended to be representative of site materials. The treatability study, however, is only as accurate as the sample taken in the field. Since KEMRON has no control over the sample collection, the results of the study are assumed to be only estimations of the anticipated results. Certain chemical parameters were analyzed by Cheminova for this project. As such, KEMRON can make no comment on the accuracy or validity of these test results. Additionally, KEMRON has not been provided with the results of testing performed by Cheminova, and can make no comment on the effectiveness of treatment with regards to reductions in pesticide concentrations.

KEMRON has applied our best technical and scientific knowledge to the performance of the work under the economic parameters of this study. The information contained in this report in no way guarantees the same results in full-scale adaptation and is only intended as an estimate of potential site conditions.

Finally, note that many treatment reagents and approaches are covered by various patents. However, KEMRON has not researched any patent issues associated with the treatment evaluations presented herein. KEMRON can make no claims as to the relevance or applicability of any patents to the treatment evaluations presented herein.

TABLES

**KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES, INC.
TERRATHERM
DENMARK THERMAL PESTICIDE STUDY**

TABLE 1

Untreated Material Characterization

TESTING PARAMETER	UNIT	UNTREATED COMPOSITE	UNTREATED GROUNDWATER
Material pH	s.u.	5.8	-
Moisture Content	%	19.07	-
Percent Solids	%	83.99	-
Bulk Density	lb/ft ³	122.3	-
Dry Density	lb/ft ³	102.7	-
Solid Specific Gravity	-	2.7*	-
Water Saturation	%	80.5	-
Total Organic Carbon	mg/kg	2740	-
Cation Exchange Capacity	meg/100g	<9.98	-
Porosity	%	39.0	-
Total Mercury	ppm	73.7	0.944

* TerraTherm provided specific gravity of soil

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES, INC.
TERRATHERM
DENMARK THERMAL PESTICIDE STUDY

TABLE 2
Titration Data
Untreated Composite

Cumulative Addition (ml)	pH	Cumulative Addition (ml)	pH	Cumulative Addition (ml)	pH
0.0	6.18	3.1	12.15	10.4	12.98
0.1	7.18	3.2	12.16	10.8	12.99
0.2	7.55	3.3	12.18	11.2	13.00
0.3	8.02	3.4	12.24	11.6	13.00
0.4*	8.20	3.5	12.27	12.0	13.01
0.5	8.54	3.6	12.29	12.4	13.03
0.6	8.89	3.7	12.31	12.8	13.04
0.7	9.10	3.8	12.35	13.2	13.04
0.8	9.37	3.9	12.37	13.6	13.04
0.9	9.55	4.0	12.40	14.0	13.05
1.0	9.68	4.2	12.46	14.4	13.05
1.1	9.93	4.4	12.48	14.8	13.06
1.2	10.14	4.6	12.53	15.2	13.07
1.3	10.20	4.8	12.56	15.6	13.07
1.4	10.31	5.0	12.59	16.0	13.08
1.5	10.38	5.2	12.62	16.6	13.09
1.6	10.59	5.4	12.64	17.2	13.10
1.7	10.92	5.6	12.67	17.8	13.11
1.8	10.97	5.8	12.69	18.6	13.12
1.9	11.11	6.0	12.71	19.6	13.13
2.0	11.38	6.2	12.72	20.6	13.14
2.1	11.49	6.4	12.73	21.6	13.15
2.2	11.51	6.8	12.77	22.6	13.17
2.3	11.55	7.2	12.79	23.6	13.18
2.4	11.68	7.6	12.81	25.0	13.19
2.5	11.89	8.0	12.83	30.0	13.23
2.6	11.98	8.4	12.87	35.0	13.26
2.7	12.01	8.8	12.91		
2.8	12.04	9.2	12.93		
2.9	12.06	9.6	12.95		
3.0	12.10	10.0	12.96		

NOTES:

The untreated composite was prepared using 60g of soil and 20g of water

KEY

* Not a complete 0.1ml

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES, INC.
TERRATHERM
DENMARK THERMAL PESTICIDE STUDY

Table 3
Hydrolysis Batch Study
Summary of pH Monitoring

REACTOR SETUP PARAMETER	pH MONITORING RESULTS (s.u.)						
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
10 °C – no pH adjustment	6.00	6.50	6.50	6.50	7.50	6.50	6.80
10 °C – pH adjusted to 10 s.u.	10.50	9.50	9.50	10.50	8.50	8.52	8.52
70 °C – no pH adjustment	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.48	5.45
70 °C – pH adjusted to 10 s.u.	7.50	7.50	6.50	6.50	6.50	6.51	6.52

**DENMARK THERMAL PESTICIDE
TREATABILITY STUDY
TERRATHERM, INC.**

**Table 4
Summary of Hydrolysis Study Gas Analyses**

Gas Parameter	Units	Day 1			Day 2			Day 3			Day 4			Day 5			Day 6			Day 7									
		70°C		10°C	70°C		10°C	70°C		10°C	70°C		10°C	70°C		10°C	70°C		10°C	70°C		10°C							
		C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T								
Dimethyl sulfide & Diethyl sulfide	ppm	400	2558	133	61.9	1608	1206	66.2	922	1865	2246	191	171	2.4	1045	133	357	2536	1765	286	371	2512	1489	87.7	378	2025	1527	82	34.01
		30	112	2	1	65	10	ND	22	22	51	23	0	0	0	51	0	2	112	7	0	1	87	6	0	1	49	14	0
SO ₂	ppm	0	16.8	5.4	2.5	62.9	34.1	ND	5.6	51.8	41	9.1	9.2	0.2	27.3	6.5	7.3	64	54.6	23.2	24.4	65.2	35.8	12.1	10.9	28.8	3.0	7.3	5.0
O ₂	%O ₂	20.6	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
LEL	%LEL	35	26	100	0	100	25	ND	44	52	22	100	100	0	16	100	5	46	20	11	5	42	16	100	5	19	13	3	ND
Dragger (SO)	ppm	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂	ppm	ND*	ND*	ND*	ND*	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CH ₄	ppm	0*	4	0*	11*	9	4	ND	3	4	1	0	1	4	0	0	0	0	2	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-
NO	ppm	5*	617	0*	24*	624	611	ND	152	598	135	10	58	248	95	7	47	103	267	21	108	91	194	49	118	205	82	6	125
NO ₂	ppm	0.2*	2.7	0*	1.1*	4	2.2	ND	1.9	4.2	1.4	0.0	1.1	3.2	0.9	0	0.7	1.4	2.5	0	1.2	0.9	2	2.9	2.2	1.5	1.2	0	1.7
CO	ppm	1.8*	5*	7.7*	7.3*	3.5	3.3	ND	1.4	400*	447	280	331	151*	315	359	369	27.5	57.2	79	82.5	520*	564	501	380	13	556	569	533
CO ₂	ppm	23.6*	500*	480*	460*	540	530	ND	500	2920	750	3360	460	4960	630	4960	540	680	570	7000	890	960	860	2520	840	1000	720	3080	340

NOTES:
No pressurized gas was produced in the testing; only headspace gases were analyzed.
Test samples were conducted at pH 10.
Control samples were conducted at unaltered pH's.

KEY
*** Readings reflect possible interference due to suspected vacuum.
"-" Test not completed
"ND" indicates parameter not detected

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES, INC.
TERRATHERM
DENMARK THERMAL STUDY

TABLE 5
Treated Total Mercury Analysis

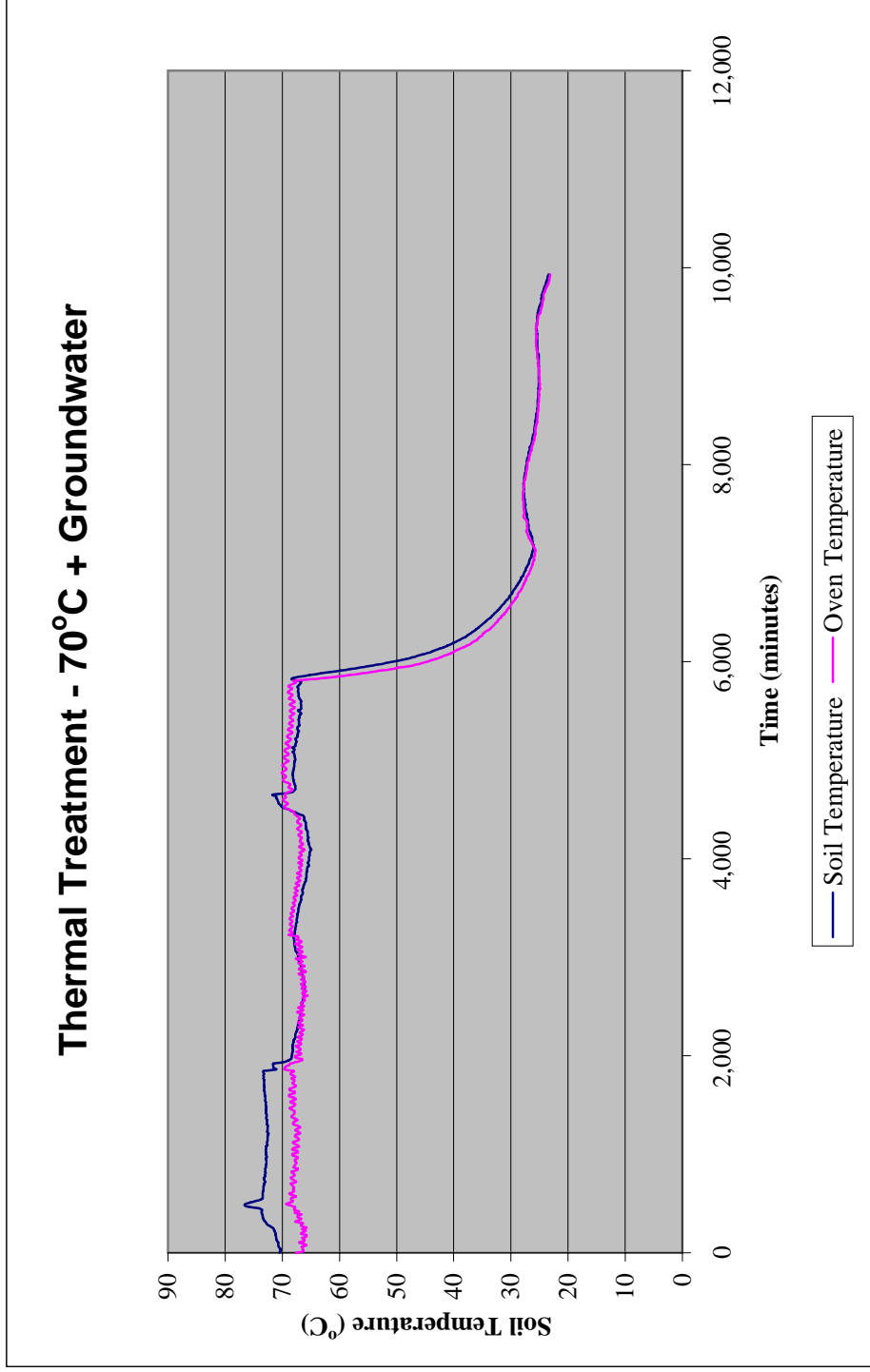
SAMPLE ID	THERMAL TREATMENT TEMPERATURE	RESULTS		
		Treated Soil		Condensate
		Mercury (mg/Kg)	Solids Content (%)	Mercury (mg/L)
Control	-	42.9	77.5	-
70°C + GW	70°C	86.5	84.5	0.00348
90°C + GW	90°C	45.0	98.4	0.00593
100°C + Steam	100°C	42.7	83.4	0.0120
300°C	300°C	6.0	99.6	0.718

FIGURES

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES, INC.
TERRATHERM
DENMARK THERMAL PESTICIDE STUDY

FIGURE 1

Thermal Treatment @ 70°C + Groundwater
Summary of Temperature Monitoring

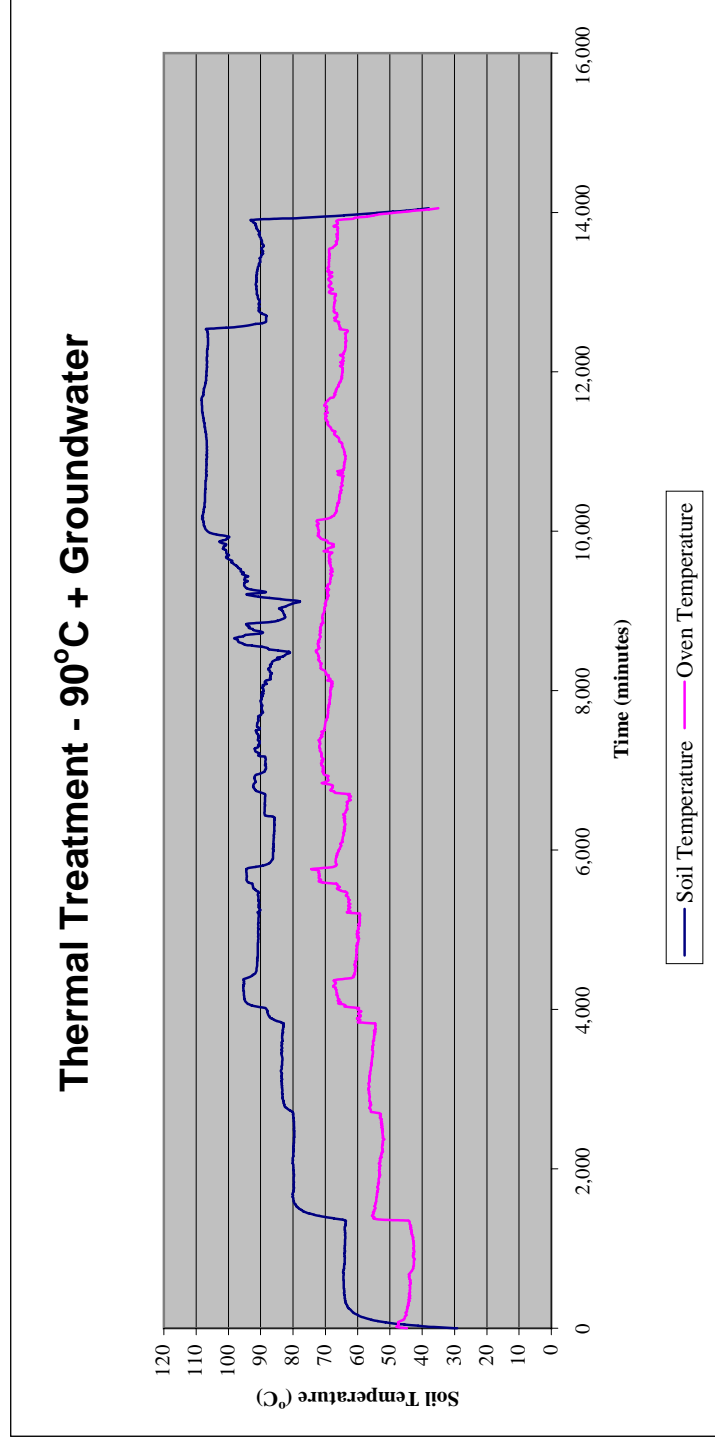


Note that the datalogger associated with this test malfunctioned during testing. As such, approximately 4,000 minutes of the beginning of testing were not recorded.

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES, INC.
TERRATHERM
DENMARK THERMAL PESTICIDE STUDY

FIGURE 2

Thermal Treatment @ 90°C + Groundwater
Summary of Temperature Monitoring

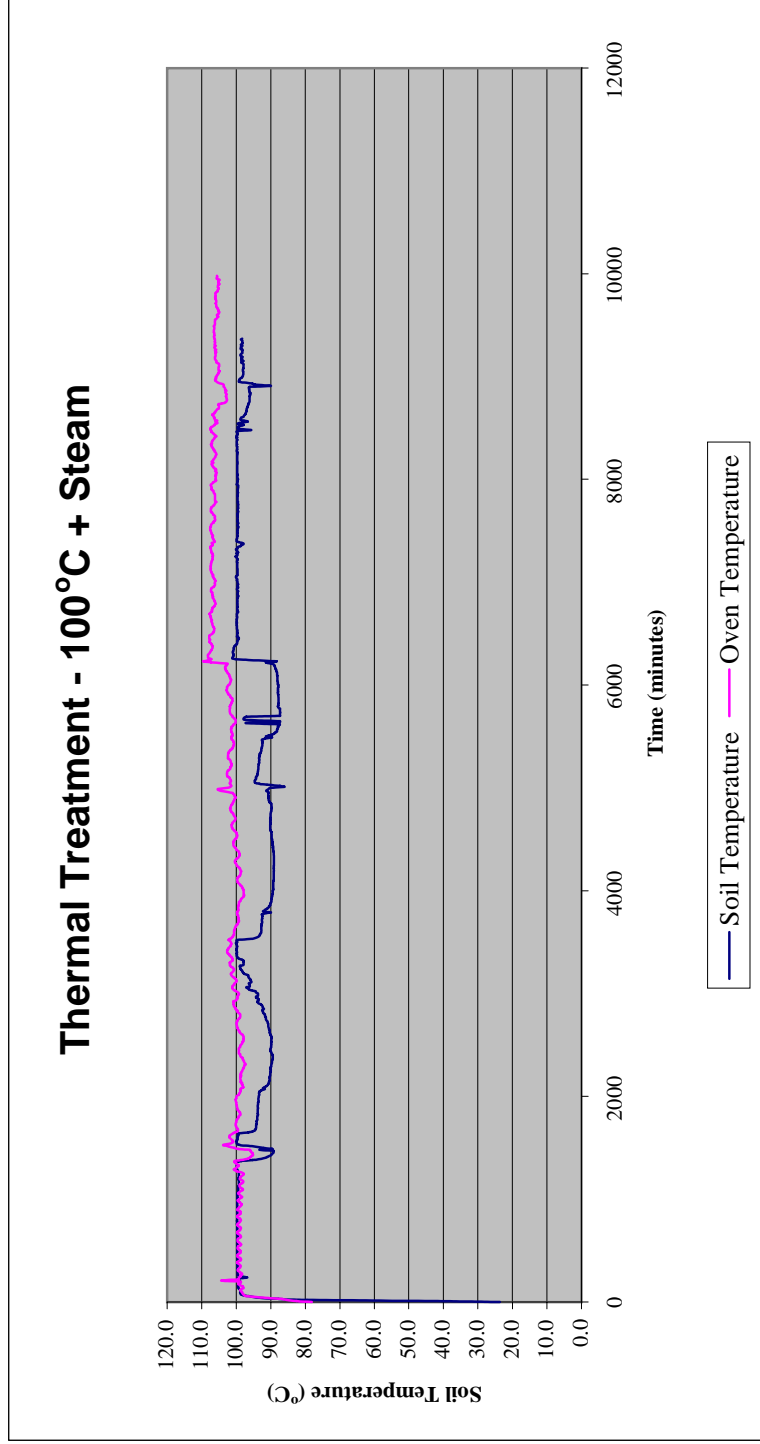


The thermocouple recording the oven temperature for this test was incorrectly placed within the furnace. As such, the probe was separated from the oven chamber by a layer of insulation resulting in inaccurate measurements.

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES, INC.
TERRATHERM
DENMARK THERMAL PESTICIDE STUDY

FIGURE 3

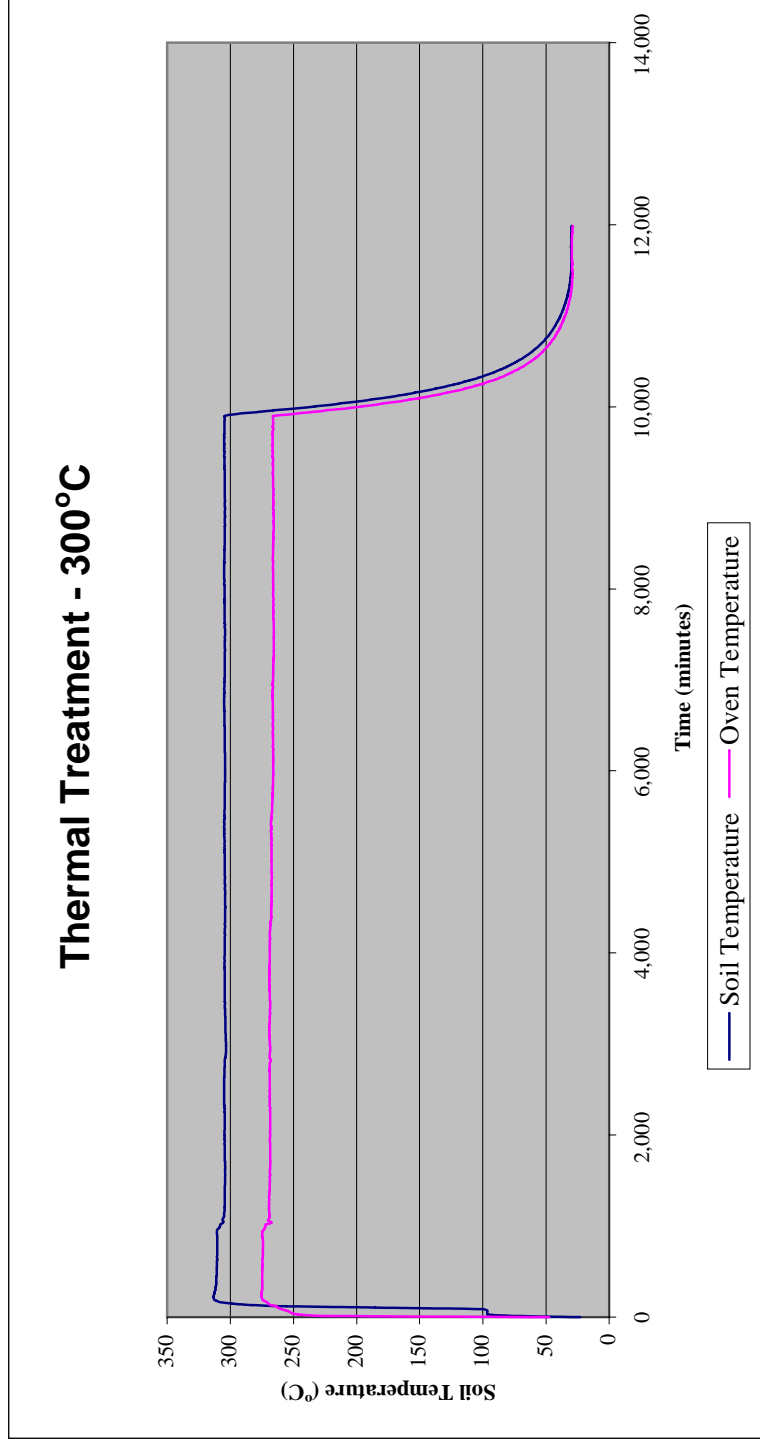
Thermal Treatment @ 100°C + Steam
Summary of Temperature Monitoring



KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES, INC.
TERRATHERM
DENMARK THERMAL PESTICIDE STUDY

FIGURE 4

Thermal Treatment @ 300°C
Summary of Temperature Monitoring



APPENDIX A
CHAIN OF CUSTODY



MAERSK LOGISTICS

5136 SOUTHRIDGE PKWY, STE 114 COLLEGE PARK, GA 303
Tel: (770) 907-6012

DATE 04/19/06	SHIP REF NO 30-20-04989
------------------	----------------------------

ORIGINAL DELIVERY ORDER

IMPORTING CARRIER LUFTHANSA CARGO A.G. LANGER KORNWEG 34 I D-65451 KELSTERBACH, GERMANY	PICK UP LOCATION LUFTHANSA CARGO - ATL 4301 ASR RD. FIRMS CODE: L838 ATLANTA, GA 30320
--	--

B/L OR AWB NO. 020-96320210	ARRIVAL DATE 04/19/06	FREE TIME EXP 04/19/06	LOCAL DELIVERY OR TRANSFER BY (DELIVERY ORDER SUBJECT) AIR FREIGHT EXPRESS
--------------------------------	--------------------------	---------------------------	---

VESSEL/LARKLINE	VOYAGE/FLT 6204	BL/MAWB BLL00003503	IT. NO.	CUST REF NO
-----------------	--------------------	------------------------	---------	-------------

FOR DELIVERY TO	CONSIGNEE
KEMRON ENVIROMENTAL SERVICES INC. 1359-A ELLSWORTH IND BLVD ATLANTA, GA 30318 ATTN: CHANA GILZENRAT 404-636-0928	KEM-EN-TEC A/S

MARKS	PIECES	COMMODITY	KGS	CBM
	13 PIECES	CHEMICALS: PESTICIDE	200.62L	19.780F
	(HAZ)		91.00K	0.560C

*Received 4/20/06
me*

Total Cartons

ORIGINAL ENDORSED BILL OF LADING NOT REQUIRED.

INSTRUCTIONS TO THE CARRIER:

EMERGENCY CONTACT: FOR HELP INVOLVING SPILL, LEAK, FIRE OR EXPOSURE, CALL TOLL FREE 800-424-9300 DAY OR NIGHT. OUTSIDE CONTINENTAL USA, CALL 1-703-527-3887 COLLECT, DAY OR NIGHT.

INLAND FREIGHT	COLLECT	PREPAID
-----------------------	---------	---------

Received in Good Order
By:

ORIGINAL DELIVERY ORDER

Tamara Wallace
TAMARA WALLACE
PER Maersk Logistics USA Inc.

MAERSK LOGISTICS USA INC. (L815)
5136 SOUTHRIDGE PKWY (FMC#17705N)
SUITE 114
COLLEGE PARK, GA 30349
TEL: 770-907-6012 / FAX: 770-907-

SHIPPER'S DECLARATION FOR DANGEROUS GOODS

Shipper
 Niras A/S
 Sortemosevej 2
 3450 Allerød
 Denmark

Consignee
 KEMRON Enviromental Services Inc.
 1359-A Ellsworth Industrial Boulevard
 GA-30318 Atlanta
 USA
 Att.: Chana Gilzenrat

Air Waybill No. 020 96320210

Page of 1 Pages 1

Shipper's Reference Number
 (optional)

Two completed and signed copies of this Declaration must be handed to the operator.

TRANSPORT DETAILS

This shipment is within the limitations prescribed for: (delete non-applicable)

PASSENGER AND CARGO AIRCRAFT	CARGO AIRCRAFT
------------------------------	---------------------------

Airport of Departure: **BILLUND**

Airport of Destination: **ATLANTA**

WARNING

Failure to comply in all respects with the applicable Dangerous Goods Regulations may be in breach of the applicable law, subject to legal penalties.

Shipment type: (delete non-applicable)

NON-RADIOACTIVE	RADIOACTIVE
-----------------	------------------------

NATURE AND QUANTITY OF DANGEROUS GOODS

UN or ID No.	Dangerous Goods Identification Proper Shipping Name	Class or Division (Subsidiary Risk)	Packing Group	Quantity and type of packing	Packing Inst.	Authorization
UN3018	Organophosphorous pesticide, liquid, toxic (Sediment samples Containing Parathion)	6.1	II	11 fibreboard boxes X 3 L. net	609	
UN3018	Organophosphorous pesticide, liquid, toxic (Sediment samples Containing Parathion)	6.1	II	1 fibreboard box X 2 L. net	609	
UN3018	Organophosphorous pesticide, liquid, toxic (Sediment samples Containing Parathion)	6.1	II	1 fibreboard box X 1 L. net	609	

Additional Handling Information

EMERGENCY RESPONSE INFORMATION, 24-hour number: Niras (01145) 30 84 36 71
 Transport according to rules ADR.1.1.4.2.

APPENDIX B
LABORATORY REPORTS



*Data contained on this sheet shall not be disclosed without prior approval from
KEMRON Environmental Services, Inc. (Proprietary)*

TOTAL POROSITY and PORE VOLUME

PROJECT:	Denmark Pesticide Site
PROJECT No.:	SE-0168
TESTING DATE:	5/18/2006
TRACKING CODE:	3680_TP

Total Porosity and Pore Volume Calculation	
SAMPLE No.	Untreated Composite
1. Bulk Density	91.6 lbs/ft ³
2. Moisture Content	58.8 %
3. Specific Gravity	2.7 -
4. Dry Density	57.7 lbs/ft ³
6. Weight of Solids ₍₁₎	0.9248 g
7. Volume of Solids ₍₁₎	0.3425 cm ³
8. Volume of Voids ₍₁₎	0.6575 cm ³
9. Total Porosity (e)	65.7 %
10. Reactor Sample Volume	1021.6 cc
11. Pore Volume	671.2 cc

₁ Calculated for 1 cubic centimeter

TOTAL POROSITY

PROJECT: Denmark Pesticide Site
PROJECT No SE-0168
TESTING DATE: 5/18/2006
TRACKING CODE: 3680_TP

TOTAL POROSITY CALCULATION	
SAMPLE No.	Untreated Composite
1. Bulk Density	122.3 lbs/ft ³
2. Moisture Content	19.1 %
3. Specific Gravity	2.7
4. Dry Density	102.7 lbs/ft ³
6. Weight of Solids ₍₁₎	1.6460 g
7. Volume of Solids ₍₂₎	0.6096 cm ³
8. Volume of Voids ₍₃₎	0.3904 cm ³
9. Total Porosity (e)	39.0 %
10. Saturation (S)	80.5 %

₍₁₎ Calculated for 1 cubic centimeter

UNIT WEIGHT DETERMINATION

DATA SHEET

PROJECT: Denmark Festive Site
 PROJECT No: SE-0166
 SAMPLE No: Unreated Composite
 TESTING DATE: 5/17/2005
 TESTED BY: clj
 TRACKING CODE: 3680

UNIT WEIGHT (DENSITY)			
1. SAMPLE NO.	A	B	C
2. WT OF MOLD (tare weight)	21.20 g	21.20 g	21.20 g
3. WT OF MOLD + SOIL	424.50 g	425.60 g	423.60 g
4. WT OF WET SOIL, W	403.30 g	404.40 g	402.60 g
5. DIAMETER OF SPECIMEN, D	2.00 in	2.00 in	2.00 in
6. HEIGHT OF SPECIMEN, H	4.00 in	4.00 in	4.00 in
7. VOLUME OF SPECIMEN	12.57 in ³	12.57 in ³	12.57 in ³
8. BULK UNIT WEIGHT	122.3 pcf	122.6 pcf	122.0 pcf
9. BULK SPECIFIC GRAVITY	2.0	2.0	2.0
10. AVERAGE BULK UNIT WEIGHT	122.3 pcf		
11. AVERAGE BULK SPECIFIC GRAVITY	2.0		

MOISTURE CONTENT DETERMINATION

REPORT FORM

PROJECT Denmark Pesticide Site
PROJECT No SU-0160
SAMPLE No Untreated Composite
TESTING DATE 5-17-2005
TESTED BY ckg
TRACKING CODE 3260_mv
.....

MOISTURE CONTENT (Dry & Wet Basis)	
1. MOISTURE TIN NO	Untreated
2. WT MOISTURE T.N (tare weight)	150.23 g
3. WT WET SOIL + TARE	279.50 g
4. WT DRY SOIL + TARE	258.80 g
5. WT WATER, W_w	20.70 g
6. WT DRY SOIL, W_s	108.57 g
7. ASTM MOISTURE CONTENT, W	19.07 %
8. PERCENT SOLIDS	83.99 %

MATERIAL pH

EPA METHOD 9045
DATA SHEET

PROJECT: DENMARK PESTICIDE SITE
PROJECT No. SE-0168
TESTING DATE: 8/17/2006
TESTED BY: CLG
TRACKING CODE: 3680_pH

KEMRON SAMPLE No.	MATERIAL pH
1. Untreated A	5.78
2. Untreated B	5.65
3. Untreated C	5.98
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
AVERAGE:	5.80



156 Starlite Drive, Marietta, OH 45750 • TEL 740-373-4071 • FAX 740-373-4835 • <http://www.kemron.com>

Laboratory Report Number: L0607075

Please find enclosed the analytical results for the samples you submitted to KEMRON Environmental Services.

Review and compilation of your report was completed by KEMRON's Sales and Service Team. If you have questions, comments or require further assistance regarding this report, please contact your team member noted in the reviewed box below at 800-373-4071. Team member e-mail addresses also appear here for your convenience.

Debra Elliott - Team Leader
delliott@kemron-lab.com

Amanda Fickiesen - Client Services Specialist
afickiesen@kemron-lab.com

Cheryl Koelsch - Team Chemist/Data Specialist
ckoelsch@kemron-lab.com

Annie Bock - Client Services Specialist
abock@kemron-lab.com

Stephanie Mossburg - Team Chemist/Data Specialist
smossburg@kemron-lab.com

Kathy Albertson - Team Chemist/Data Specialist

Amanda Fickiesen

9, 2006.

Stephanie Mossburg

STEPHANIE MOSSBURG - Team Chemist/Data Specialist

Stephanie Mossburg
I certify that all test results meet all of the requirements of the NELAP standards and other applicable contract terms and conditions. All results for soil samples are reported on a 'dry-weight' basis unless specified otherwise. Analytical results for water and wastes are reported on a 'as received' basis unless specified otherwise. A statement of uncertainty for each analysis is available upon request. This laboratory report shall not be reproduced, except in full, without the written approval of KEMRON Environmental Services.

This report was certified on July 19, 2006.

David Vandenberg

David Vandenberg - Vice President

FL DOH NELAP ID: E8755
This report contains a total of 15 pages.

Protecting Our Environmental Future

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES
REPORT NARRATIVE

KEMRON Login No.: L0607075

CHAIN OF CUSTODY: The chain of custody number was SE-0168

SHIPMENT CONDITIONS: The chain of custody forms were received sealed in a cooler. The cooler temperature was 3 degrees C.

SAMPLE MANAGEMENT: All samples received were intact.

I certify that this data package is in compliance with the terms and conditions agreed to by the client and KEMRON Environmental Services, both technically and for completeness, except for the conditions noted above. Release of the data contained in this hardcopy data package has been authorized by the Laboratory Manager or designated person, as verified by the following signature.



KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES
METALS

KEMRON Login No: L0607075

METHOD

Preparation: SW-846 7471A

Analysis: SW-846 7471A

HOLDING TIMES

Sample Preparation: All holding times were met.

Sample Analysis: All holding times were met.

PREPARATION

Sample preparation proceeded normally.

CALIBRATION

Initial Calibrations: All acceptance criteria were met.

Alternate Source Standards: All acceptance criteria were met.

Continuing Calibration: All acceptance criteria were met.

BATCH QA/QC

Method Blank: All acceptance criteria were met.

Laboratory Control Sample: All acceptance criteria were met.

Serial Dilution/Post Digestion Spike: WG217020(7471A) - All acceptance criteria were met.

SAMPLES Client sample 01, for mercury, was reported with a 100x dilution and the 500x serial dilution for sample 01 was compliant. Client sample 02, for mercury, was reported with a 100x dilution and the 500x serial dilution for sample 02 was compliant. Client sample 03, for mercury, was reported with a 100x dilution and the 500x serial dilution for sample 03 was compliant.

All acceptance criteria were met.

I certify that this data package is in compliance with the terms and conditions agreed to by the client and KEMRON Environmental Services, both technically and for completeness, except for the conditions noted above. Release of the data contained in this hardcopy data package has been authorized by the Laboratory Manager or designated person, as verified by the following signature.

Analyst: PAS

Pasi Pasia

LABORATORY REPORT

L0607075

07/19/06 10:57

Submitted By

KEMRON Environmental Services
156 Starlite Drive
Marietta , OH 45750
(740) 373 - 4071

For

Account Name: Kemron Environmental Services
1359-A ELLSWORTH INDUSTRIAL BLVD

ATLANTA, GA 30318
Attention: KELLY CLEMONS

Account Number: 2820
Work ID: DENMARK THERMAL PESTICIDE
Invoice Number: 581325

Sample Summary

<u>Client ID</u>	<u>Lab ID</u>	<u>Date Collected</u>	<u>Date Received</u>
TIME -0 THERMAL	L0607075-01	29-JUN-06	06-JUL-06
90'C + GROUNDWATER	L0607075-02	29-JUN-06	06-JUL-06
100'C + STEAM	L0607075-03	29-JUN-06	06-JUL-06

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES

Report Number: L0607075

Report Date : July 19, 2006

Sample Number: L0607075-01 PrePrep Method: NONE Instrument: HYDRA
 Client ID: TIME -0 THERMAL Prep Method: METHOD Prep Date: 07/10/2006 10:35
 Matrix: Soil Analytical Method: 7471A Cal Date: 07/11/2006 11:42
 Workgroup Number: WG217020 Analyst: PAS Run Date: 07/11/2006 13:55
 Collect Date: 06/29/2006 00:01 Dilution: 100 File ID: HY.071106.135531
 Sample Tag: DL01 Units: mg/kg Percent Solid: 77.5

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Mercury, Total	7439-97-6	42.9		31.9	1.28

Sample Number: L0607075-01 PrePrep Method: NONE Instrument: OVEN
 Client ID: TIME -0 THERMAL Prep Method: D2216-90 Prep Date: 07/10/2006 08:40
 Matrix: Soil Analytical Method: D2216-90 Cal Date:
 Workgroup Number: WG216914 Analyst: DIH Run Date: 07/10/2006 08:40
 Collect Date: 06/29/2006 00:01 Dilution: 1 File ID: OV.0607100840-01
 Units: weight %

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Percent Solids	10-02-6	77.5		1.00	1.00

Sample Number: L0607075-02 PrePrep Method: NONE Instrument: HYDRA
 Client ID: 90'C + GROUNDWATER Prep Method: METHOD Prep Date: 07/10/2006 10:35
 Matrix: Soil Analytical Method: 7471A Cal Date: 07/11/2006 11:42
 Workgroup Number: WG217020 Analyst: PAS Run Date: 07/11/2006 14:20
 Collect Date: 06/29/2006 00:01 Dilution: 100 File ID: HY.071106.142029
 Sample Tag: DL01 Units: mg/kg Percent Solid: 98.4

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Mercury, Total	7439-97-6	45.0		24.2	0.970

Sample Number: L0607075-02 PrePrep Method: NONE Instrument: OVEN
 Client ID: 90'C + GROUNDWATER Prep Method: D2216-90 Prep Date: 07/10/2006 08:40
 Matrix: Soil Analytical Method: D2216-90 Cal Date:
 Workgroup Number: WG216914 Analyst: DIH Run Date: 07/10/2006 08:40
 Collect Date: 06/29/2006 00:01 Dilution: 1 File ID: OV.0607100840-02
 Units: weight %

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Percent Solids	10-02-6	98.4		1.00	1.00

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES

Report Number: L0607075

Report Date : July 19, 2006

Sample Number: <u>L0607075-03</u>	PrePrep Method: <u>NONE</u>	Instrument: <u>HYDRA</u>
Client ID: <u>100'C + STEAM</u>	Prep Method: <u>METHOD</u>	Prep Date: <u>07/10/2006 10:35</u>
Matrix: <u>Soil</u>	Analytical Method: <u>7471A</u>	Cal Date: <u>07/11/2006 11:42</u>
Workgroup Number: <u>WG217020</u>	Analyst: <u>PAS</u>	Run Date: <u>07/11/2006 14:23</u>
Collect Date: <u>06/29/2006 00:01</u>	Dilution: <u>100</u>	File ID: <u>HY.071106.142348</u>
Sample Tag: <u>DL01</u>	Units: <u>mg/kg</u>	Percent Solid: <u>83.4</u>

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Mercury, Total	7439-97-6	42.7		29.5	1.18

Sample Number: <u>L0607075-03</u>	PrePrep Method: <u>NONE</u>	Instrument: <u>OVEN</u>
Client ID: <u>100'C + STEAM</u>	Prep Method: <u>D2216-90</u>	Prep Date: <u>07/10/2006 08:40</u>
Matrix: <u>Soil</u>	Analytical Method: <u>D2216-90</u>	Cal Date: _____
Workgroup Number: <u>WG216914</u>	Analyst: <u>DIH</u>	Run Date: <u>07/10/2006 08:40</u>
Collect Date: <u>06/29/2006 00:01</u>	Dilution: <u>1</u>	File ID: <u>OV.0607100840-03</u>
	Units: <u>weight %</u>	

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Percent Solids	10-02-6	83.4		1.00	1.00

WORKGROUP SUMMARY BY METHOD

WORKGROUP SUMMARY BY METHOD

Analysis:Percent Solids _____

Analytical Method:D2216-90 _____

Workgroup:WG216914 _____

Lab ID	Client ID	Tclp Date	Prep Date	Analysis Date	Tag	Inst Id	Analyst
L0607075-01	TIME -0 THERMAL			07/10/06 08:40		OVEN	DIH
L0607075-02	90'C + GROUNDWATER			07/10/06 08:40		OVEN	DIH
L0607075-03	100'C + STEAM			07/10/06 08:40		OVEN	DIH

Analysis:Mercury, Total _____

Extraction Method:METHOD _____

Workgroup:WG216930 _____

Lab ID	Client ID	Tclp Date	Prep Date	Analysis Date	Tag	Inst Id	Analyst
L0607075-01	TIME -0 THERMAL					HOT BLOCK	REK
L0607075-02	90'C + GROUNDWATER					HOT BLOCK	REK
L0607075-03	100'C + STEAM					HOT BLOCK	REK

Analysis:Mercury, Total _____

Analytical Method:7471A _____

Workgroup:WG217020 _____

Lab ID	Client ID	Tclp Date	Prep Date	Analysis Date	Tag	Inst Id	Analyst
L0607075-01	TIME -0 THERMAL		07/10/06 10:35	07/11/06 13:55	DL01	HYDRA	PAS
L0607075-02	90'C + GROUNDWATER		07/10/06 10:35	07/11/06 14:20	DL01	HYDRA	PAS
L0607075-03	100'C + STEAM		07/10/06 10:35	07/11/06 14:23	DL01	HYDRA	PAS

Kemron Environmental Services
Analyst Listing
July 19, 2006

AJF - AMANDA J. FICKIESEN	ALB - ANNIE L. BOCK	ALT - ANN L. THAYER
BRG - BRENDA R. GREGORY	CAA - CASSIE A. AUGENSTEIN	CAF - CHERYL A. FLOWERS
CAK - CHERYL A. KOELSCH	CEB - CHAD E. BARNES	CLC - CHRYS L. CRAWFORD
CLS - CARA L. STRICKLER	CLW - CHARISSA L. WINTERS	CM - CHARLIE MARTIN
CMS - CRYSTAL M. STEPHENS	CPD - CHAD P. DAVIS	CRC - CARLA R. COCHRAN
CSA - LUCINDA S. ARNOLD	CSH - CHRIS S. HILL	DAS - DALLAS A. SULLIVAN
DD - DIANE M. DENNIS	DDE - DEBRA D. ELLIOTT	DEL - DON E. LIGHTFRITZ
DEV - DAVID E. VANDENBERG	DGB - DOUGLAS G. BUTCHER	DIH - DEANNA I. HESSON
DLB - DAVID L. BUMGARNER	DLP - DOROTHY L. PAYNE	DLR - DIANNA L. RAUCH
DR - DEANNA ROBERTS	DSM - DAVID S. MOSSOR	DST - DENNIS S. TEPE
ECL - ERIC C. LAWSON	ED - EMILY E. DECKER	HAV - HEMA VILASAGAR
JAL - JOHN A. LENT	JKT - JANE K. THOMPSON	JLS - JANICE L. SCHIMMEL
JNB - JOSHUA N. BOOTH	JS - JENNIFER L. SOUTHALL	JWR - JOHN W. RICHARDS
JWS - JACK W. SHEAVES	JYH - JI Y. HU	KCZ - KEVIN C. ZUMBRO
KEB - KATHRYN E. BARNES	KHR - KIM H. RHODES	KRA - KATHY R. ALBERTSON
LKN - LINDA K. NEDEFF	LSB - LESLIE S. BUCINA	MDA - MIKE D. ALBERTSON
MDC - MICHAEL D. COCHRAN	MES - MARY E. SCHILLING	MKZ - MARILYN K. ZUMBRO
MLR - MARY L. ROCHOTTE	MLS - MICHAEL L. SCHIMMEL	MMB - MAREN M. BEERY
MSW - MATT S. WILSON	NJB - NATALIE J. BOOTH	PAS - PATRICK A. STREET
PJM - PAUL J. MILLER	RB - ROBERT BUCHANAN	RDC - REBECCA D. CUTLIP
REK - ROBERT E. KYER	RWC - RODNEY W. CAMPBELL	SCM - SUSAN C. MOELLENDICK
SLM - STEPHANIE L. MOSSBURG	SLP - SHERI L. PFALZGRAF	SMH - SHAUNA M. HYDE
SRM - SAMUEL R. MCFEE	TMB - TIFFANY M. BAILEY	TMM - TAMMY M. MORRIS
VC - VICKI COLLIER	WFM - WALTER F. MARTIN	

KEMRON Environmental Services

List of Valid Qualifiers

July 19, 2006

Qualkey: STD

<u>Qualifier</u>	<u>Description</u>
*	Surrogate or spike compound out of range
+	Correlation coefficient for the MSA is less than 0.995
<	Result is less than the associated numerical value.
>	Result is greater than the associated numerical value.
A B	See the report narrative
C	Analyte present in method blank
CG	Confirmed by GC/MS
DL	Confluent growth
E	Surrogate or spike compound was diluted out
EDL	Estimated concentration due to sample matrix interference
EMPC	Elevated sample reporting limits, presence of non-target analytes
FL	Estimated Maximum Possible Concentration
I J	Free Liquid
J,B	Semiquantitative result (out of instrument calibration range)
J,P	The analyte was positively identified, but the quantitation was below the RL
L M	Analyte detected in both the method blank and sample above the MDL.
N	ESTIMATE & COLUMNS DON'T AGREE TO WITHIN 40%
NA	Sample reporting limits elevated due to matrix interference
ND	Matrix effect; the concentration is an estimate due to matrix effect.
NF	Tentatively identified compound(TIC)
NFL	Not applicable
NI	Not detected at or above the reporting limit
NR	Not found by library search
NS	No free liquid
P	Non-ignitable
Q	Analyte is not required to be analyzed
QNS	Not spiked
RA	Concentrations >40% difference between the two GC columns
RE	One or more quality control criteria fail. See narrative.
S	Quantity of sample not sufficient to perform analysis
SMI	Reanalysis confirms reported results
SP	Reanalysis confirms sample matrix interference
TIC	Analyzed by method of standard addition
TNTC	Sample matrix interference on surrogate
U	Reported results are for spike compounds only
UJ	Library Search Compound
W	Too numerous to count
X	Undetected; the concentration is below the reported MDL.
Z	Undetected; the MDL and RL are estimated due to quality control discrepancies. Post-digestion spike for furnace AA out of control limits Exceeds regulatory limit Cannot be resolved from isomer - see below

***Special Notes for Organic Analytes

1. Acrolein and acrylonitrile by method 624 are semi-quantitative screens only.
2. 1,2-Diphenylhydrazine is unstable and is reported as azobenzene.
3. N-nitrosodiphenylamine cannot be separated from diphenylamine.
4. 3-Methylphenol and 4-Methylphenol are unresolvable compounds.
5. m-Xylene and p-Xylene are unresolvable compounds.
6. The reporting limits for Appendix II/IX compounds by method 8270 are based on EPA estimated PQLs referenced in 40 CFR Part 264, Appendix IX. They are not always achievable for every compound and are matrix dependent.

KEMRON Environmental Services

METHOD BLANK SUMMARY

Login Number: L0607075 _____ Work Group: WG217020 _____
 Blank File ID: HY.071106.115243 _____ Blank Sample ID: WG216930-02 _____
 Date Analyzed: 07/11/06 _____ Instrument ID: HYDRA _____
 Time Analyzed: 11:52 _____ Method: 7471A _____
 Analyst: PAS _____

This Method Blank Applies To The Following Samples:

Client ID	Lab Sample ID	Lab File ID	Time Analyzed	TAG
LCS	WG216930-03	HY.071106.115459	07/11/06 11:54	01
TIME -0 THERMAL	L0607075-01	HY.071106.135531	07/11/06 13:55	DL01
90'C + GROUNDWATER	L0607075-02	HY.071106.142029	07/11/06 14:20	DL01
100'C + STEAM	L0607075-03	HY.071106.142348	07/11/06 14:23	DL01

KEMRON Environmental Services

METHOD BLANK REPORT

Login Number:L0607075 Run Date:07/11/2006 Sample ID:WG216930-02
 Instrument ID:HYDRA Run Time:11:52 Prep Method:METHOD
 File ID:HY.071106.115243 Analyst:PAS Method:7471A
 Workgroup (AAB#):WG217020 Matrix:Solid Units:mg/kg
 Contract #: Cal ID: HYDRA-11-JUL-06

Analytes	MDL	RL	Concentration	Dilution	Qualifier
Mercury, Total	0.0100	0.250	0.0100	1	U

MDL Method Detection Limit

RL Reporting/quantitation Limit

* Analyte concentration > RL

KEMRON Environmental Services

LABORATORY CONTROL SAMPLE (LCS)

Login Number:L0607075 Run Date:07/11/2006 Sample ID:WG216930-03
 Instrument ID:HYDRA Run Time:11:54 Prep Method:METHOD
 File ID:HY.071106.115459 Analyst:PAS Method:7471A
 Workgroup (AAB#):WG217020 Matrix:Solid Units:mg/kg
 Contract #: Cal ID: HYDRA-11-JUL-06

Analytes	Expected	Found	% Rec	LCS Limits	Q
Mercury, Total	0.267	0.273	103	80 - 120	

B 2540

SAMPLE CHAIN-OF-CUSTODY RECORD



KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES, INC.
 APPLIED TECHNOLOGIES GROUP
 1359-A Ellsworth Industrial Boulevard
 ATLANTA, GEORGIA 30318
 (404) 636-0928 FAX (404) 636-7162
 WWW.KEMRON.COM

PROJECT NAME: Denmark Thermal Pesticide Study		ATG PROJECT #: SE-0168	
CONTACT: CLG		ATG PROJECT MANAGER: Chana Gilzenrat	
PHONE: 404-601-6930		EXT.:	
RECEIVING LAB: KEMRON		PO#:	
SAMPLER BY: Kathy Smart		SIGNAL LURE Chana Gilzenrat	
PRINTED NAME: Kathy Smart		SIGNAL LURE Chana Gilzenrat	
SAMPLE NUMBER	SAMPLE DESCRIPTION	SAMPLE DATE/TIME	Sample Matrix # of Containers
Time - 0 Thermal	Soil	June 29 2006	S 1x 2 oz
90°C + Groundwater	Soil	June 29 2006	S 1x 2 oz
100°C + Steam	Soil	June 29 2006	S 1x 2 oz
TEMP BLANK			1

SAMPLES RELINQUISHED BY:	DATE/TIME	SAMPLES ACCEPTED BY:	DATE/TIME	COMMENTS:
Kathy Smart	7/6/06 15:00	Brenda Gump	7/6/06 21:00	MAY HAVE PESTICIDES
				circled contact 3
				cooler dump bag

ANALYSES (indicate target list)

Total Mercury

4C

preservative:

REV 5 11/26/01

Dry Weight Results is Default for Soils/Applicable Wastes

h:\mtr\oc1.xls

SAMPLE RECEIPT FORM

Date: 7-6-07 Client: Kemron
 Shipped By: FedEx UPS DHL KEMRON Client Other
 Opened By: BMG
 Logged By: BMG Login # LD6 07050 07075 ^{BMG 7-6}
 IR Temp Gun: D 45

156 STARLITE DRIVE
 MARIETTA, OH
 45750
 (740) 373-4071

COOLER INFORMATION

Number	Cooler ID	Temp °C	Airbill#	COC#	Other
1	1179	3	790487628514		
2					
3					
4					
5					
6					

- Were all coolers sealed? Y N N/A
 - Were custody seals used on all coolers? Y N N/A
 - Were custody seals intact? Y N N/A
 - Was visible ice present? Y N N/A
 - Were all coolers in the temperature range of 2-8C? (>6C*) Y N N/A
 - Were the samples frozen? Y N N/A
 - Were COC papers provided? Y N N/A
 - Were all sample containers intact? Y N N/A
 - Were all sample labels intact? Y N N/A
 - Were all sample labels legible? Y N N/A
 - Did all sample labels match the COC? Y N N/A
 - Was the label information complete? Y N N/A
 - Were the correct containers used? Y N N/A
 - Were the correct preservatives added to water samples? Y N N/A
 - Was the pH tested on preserved water samples? Y N N/A
 - Were pH ranges acceptable? Y N N/A
 - Was sufficient amount of sample provided? Y N N/A
 - Were bubbles present in VOA samples? Y N N/A
 - Were COC's signed and dated? Y N N/A
 - Did samples arrive before hold time expired? Y N N/A
 - Are discrepancy forms attached? Y N N/A
- * Requires a discrepancy form

} BMG
 7-6-06
 BMG
 7-6-06

Comments: _____

CRF #1
 Revised 8/22/03

LABORATORY REPORT

L0608134

08/11/06 10:56

Submitted By

KEMRON Environmental Services

156 Starlite Drive

Marietta , OH 45750

(740) 373 - 4071

For

Account Name: Kemron Environmental Services
1359-A ELLSWORTH INDUSTRIAL BLVD

ATLANTA, GA 30318

Attention: KELLY CLEMONS

Account Number: 2820

Work ID: DENMARK THERMAL PESTICIDE STUD

Sample Summary

Client ID	Lab ID	Date Collected	Date Received
300 THERMAL	L0608134-01	02-AUG-06	04-AUG-06
70C +GROUNDWATER	L0608134-02	02-AUG-06	04-AUG-06
UNTREATED COMPOSITE	L0608134-03	02-AUG-06	04-AUG-06
GROUNDWATER	L0608134-04	02-AUG-06	04-AUG-06
CONDENSATE 70 C	L0608134-05	02-AUG-06	04-AUG-06
CONDENSATE 90 C	L0608134-06	02-AUG-06	04-AUG-06
CONDENSATE 100 C	L0608134-07	02-AUG-06	04-AUG-06
CONDENSATE 300 C	L0608134-08	02-AUG-06	04-AUG-06

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES

Report Number: **L0608134**

Report Date : **August 11, 2006**

Sample Number: L0608134-01	PrePrep Method: NONE	Instrument: HYDRA
Client ID: 300 THERMAL	Prep Method: METHOD	Prep Date: 08/07/2006 13:45
Matrix: Soil	Analytical Method: 7471A	Cal Date: 08/08/2006 09:54
Workgroup Number: WG219375	Analyst: PAS	Run Date: 08/08/2006 10:41
Collect Date: 08/02/2006 00:01	Dilution: 20	File ID: HY.080806.104127
Sample Tag: DL01	Units: mg/kg	Percent Solid: 99.6

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Mercury, Total	7439-97-6	6.00		4.72	0.189

Sample Number: L0608134-01	PrePrep Method: NONE	Instrument: OVEN
Client ID: 300 THERMAL	Prep Method: D2216-90	Prep Date: 08/09/2006 08:40
Matrix: Soil	Analytical Method: D2216-90	Cal Date:
Workgroup Number: WG219484	Analyst: TMM	Run Date: 08/09/2006 08:40
Collect Date: 08/02/2006 00:01	Dilution: 1	File ID: OV.0608090840-03
	Units: weight %	

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Percent Solids	10-02-6	99.6		1.00	1.00

Sample Number: L0608134-02	PrePrep Method: NONE	Instrument: HYDRA
Client ID: 70C +GROUNDWATER	Prep Method: METHOD	Prep Date: 08/07/2006 13:45
Matrix: Soil	Analytical Method: 7471A	Cal Date: 08/08/2006 09:58
Workgroup Number: WG219375	Analyst: PAS	Run Date: 08/08/2006 11:07
Collect Date: 08/02/2006 00:01	Dilution: 200	File ID: HY.080806.110714
Sample Tag: DL01	Units: mg/kg	Percent Solid: 84.5

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Mercury, Total	7439-97-6	86.5		57.5	2.30

Sample Number: L0608134-02	PrePrep Method: NONE	Instrument: OVEN
Client ID: 70C +GROUNDWATER	Prep Method: D2216-90	Prep Date: 08/09/2006 08:40
Matrix: Soil	Analytical Method: D2216-90	Cal Date:
Workgroup Number: WG219484	Analyst: TMM	Run Date: 08/09/2006 08:40
Collect Date: 08/02/2006 00:01	Dilution: 1	File ID: OV.0608090840-04
	Units: weight %	

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Percent Solids	10-02-6	84.5		1.00	1.00

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES

Report Number: L0608134

Report Date : August 11, 2006

Sample Number: L0608134-03 PrePrep Method: NONE Instrument: HYDRA
 Client ID: UNTREATED COMPOSITE Prep Method: METHOD Prep Date: 08/07/2006 13:45
 Matrix: Soil Analytical Method: 7471A Cal Date: 08/08/2006 09:58
 Workgroup Number: WG219375 Analyst: PAS Run Date: 08/08/2006 11:03
 Collect Date: 08/02/2006 00:01 Dilution: 100 File ID: HY.080806.110310
 Sample Tag: DL01 Units: mg/kg Percent Solid: 82.3

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Mercury, Total	7439-97-6	73.7		29.9	1.20

Sample Number: L0608134-03 PrePrep Method: NONE Instrument: OVEN
 Client ID: UNTREATED COMPOSITE Prep Method: D2216-90 Prep Date: 08/09/2006 08:40
 Matrix: Soil Analytical Method: D2216-90 Cal Date: _____
 Workgroup Number: WG219484 Analyst: TMM Run Date: 08/09/2006 08:40
 Collect Date: 08/02/2006 00:01 Dilution: 1 File ID: OV.0608090840-05
 Units: weight %

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Percent Solids	10-02-6	82.3		1.00	1.00

Sample Number: L0608134-04 PrePrep Method: NONE Instrument: HYDRA
 Client ID: GROUNDWATER Prep Method: METHOD Prep Date: 08/07/2006 12:05
 Matrix: Water Analytical Method: 7470A Cal Date: 08/08/2006 14:35
 Workgroup Number: WG219381 Analyst: PAS Run Date: 08/08/2006 15:21
 Collect Date: 08/02/2006 00:01 Dilution: 100 File ID: HY.080806.152134
 Sample Tag: DL01 Units: mg/L

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Mercury	7439-97-6	0.944		0.0200	0.0100

Sample Number: L0608134-05 PrePrep Method: NONE Instrument: HYDRA
 Client ID: CONDENSATE 70 C Prep Method: METHOD Prep Date: 08/07/2006 12:05
 Matrix: Water Analytical Method: 7470A Cal Date: 08/08/2006 14:35
 Workgroup Number: WG219381 Analyst: PAS Run Date: 08/08/2006 15:34
 Collect Date: 08/02/2006 00:01 Dilution: 1 File ID: HY.080806.153442
 Sample Tag: 01 Units: mg/L

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Mercury	7439-97-6	0.00348		0.000200	0.000100

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES

Report Number: **L0608134**

Report Date : **August 11, 2006**

Sample Number: L0608134-06	PrePrep Method: NONE	Instrument: HYDRA
Client ID: CONDENSATE 90 C	Prep Method: METHOD	Prep Date: 08/07/2006 12:05
Matrix: Water	Analytical Method: 7470A	Cal Date: 08/08/2006 14:35
Workgroup Number: WG219381	Analyst: PAS	Run Date: 08/08/2006 14:53
Collect Date: 08/02/2006 00:01	Dilution: 1	File ID: HY.080806.145319
Sample Tag: 01	Units: mg/L	

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Mercury	7439-97-6	0.00593		0.000200	0.000100

Sample Number: L0608134-07	PrePrep Method: NONE	Instrument: HYDRA
Client ID: CONDENSATE 100 C	Prep Method: METHOD	Prep Date: 08/07/2006 12:05
Matrix: Water	Analytical Method: 7470A	Cal Date: 08/08/2006 14:35
Workgroup Number: WG219381	Analyst: PAS	Run Date: 08/08/2006 15:23
Collect Date: 08/02/2006 00:01	Dilution: 2	File ID: HY.080806.152322
Sample Tag: DL01	Units: mg/L	

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Mercury	7439-97-6	0.0120		0.000400	0.000200

Sample Number: L0608134-08	PrePrep Method: NONE	Instrument: HYDRA
Client ID: CONDENSATE 300 C	Prep Method: METHOD	Prep Date: 08/07/2006 12:05
Matrix: Water	Analytical Method: 7470A	Cal Date: 08/08/2006 14:35
Workgroup Number: WG219381	Analyst: PAS	Run Date: 08/08/2006 15:25
Collect Date: 08/02/2006 00:01	Dilution: 100	File ID: HY.080806.152519
Sample Tag: DL01	Units: mg/L	

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Mercury	7439-97-6	0.718		0.0200	0.0100

August 18, 2006

Client: Kemron Environmental Services, Inc. (5128)
1359-A Ellsworth Industrial Blvd.
Atlanta, GA 30318
Attn: Kelly Clemons

Work Order: NPH1356
Project Name: Denmark Thermal Pesticide Study
Project Nbr: SE-0168
P/O Nbr:
Date Received: 08/10/06

SAMPLE IDENTIFICATION	LAB NUMBER	COLLECTION DATE AND TIME
Untreated Composite Soil	NPH1356-01	08/02/06

An executed copy of the chain of custody, the project quality control data, and the sample receipt form are also included as an addendum to this report. If you have any questions relating to this analytical report, please contact your Laboratory Project Manager at 1-800-765-0980. Any opinions, if expressed, are outside the scope of the Laboratory's accreditation.

This material is intended only for the use of the individual(s) or entity to whom it is addressed, and may contain information that is privileged and confidential. If you are not the intended recipient, or the employee or agent responsible for delivering this material to the intended recipient, you are hereby notified that any dissemination, distribution, or copying of this material is strictly prohibited. If you have received this material in error, please notify us immediately at 615-726-0177.

The Chain(s) of Custody, 2 pages, are included and are an integral part of this report.

These results relate only to the items tested. This report shall not be reproduced except in full and with permission of the laboratory.

Report Approved By:



Jessica Vickers

Senior Project Manager

Client Kemron Environmental Services, Inc. (5128)
 1359-A Ellsworth Industrial Blvd.
 Atlanta, GA 30318
 Attn Kelly Clemons

Work Order: NPH1356
 Project Name: Denmark Thermal Pesticide Study
 Project Number: SE-0168
 Received: 08/10/06 07:50

ANALYTICAL REPORT

Analyte	Result	Flag	Units	MRL	Dilution Factor	Analysis Date/Time	Method	Batch
Sample ID: NPH1356-01 (Untreated Composite Soil - Soil) Sampled: 08/02/06								
Metals								
Cation Exchange Capacity	ND		meq/100 g	9.98	10	08/16/06 11:11	SW846 9081	6082996

Client Kemron Environmental Services, Inc. (5128)
 1359-A Ellsworth Industrial Blvd.
 Atlanta, GA 30318
 Attn Kelly Clemons

Work Order: NPH1356
 Project Name: Denmark Thermal Pesticide Study
 Project Number: SE-0168
 Received: 08/10/06 07:50

PROJECT QUALITY CONTROL DATA
 Blank

Analyte	Blank Value	Q	Units	Q.C. Batch	Lab Number	Analyzed Date/Time
Metals						
6082996-BLK1 Cation Exchange Capacity	<5.00		meq/100 g	6082996	6082996-BLK1	08/16/06 11:02

Client Kemron Environmental Services, Inc. (5128)
 1359-A Ellsworth Industrial Blvd.
 Atlanta, GA 30318
 Attn Kelly Clemons

Work Order: NPH1356
 Project Name: Denmark Thermal Pesticide Study
 Project Number: SE-0168
 Received: 08/10/06 07:50

PROJECT QUALITY CONTROL DATA
 Duplicate

Analyte	Orig. Val.	Duplicate	Q	Units	RPD	Limit	Batch	Sample Duplicated	Analyzed Date/Time
Metals									
6082996-DUP1 Cation Exchange Capacity		ND		meq/100 g		20	6082996		08/16/06 11:15



Cooler Received/Opened On 08/10/06 7:50

1. Indicate the Airbill Tracking Number (last 4 digits for FedEx only) and Name of Courier below: 7533

Red-Ex UPS Velocity DHL Route Off-street Misc.

2. Temperature of representative sample or temperature blank when opened: 2.8 Degrees Celsius (indicate IR Gun ID#)

NA A00466 A00750 A01124 100190 101282 Raynger SP

3. Were custody seals on outside of cooler? YES...NO...NA

a. If yes, how many and where: 1 front

4. Were the seals intact, signed, and dated correctly? YES...NO...NA

5. Were custody papers inside cooler? YES...NO...NA

I certify that I opened the cooler and answered questions 1-5 (initial): [initials]

6. Were custody seals on containers: YES NO and Intact YES NO NA
were these signed, and dated correctly? YES...NO...NA

7. What kind of packing material used? Bubblewrap Peanuts Vermiculite Foam Insert
Plastic bag Paper Other _____ None

8. Cooling process: Ice Ice-pack Ice (direct contact) Dry ice Other None

9. Did all containers arrive in good condition (unbroken)? YES...NO...NA

10. Were all container labels complete (#, date, signed, pres., etc)? YES...NO...NA

11. Did all container labels and tags agree with custody papers? YES...NO...NA

12. a. Were VOA vials received? YES...NO...NA
b. Was there any observable head space present in any VOA vial? YES...NO...NA

I certify that I unloaded the cooler and answered questions 6-12 (initial): [initials]

13. a. On preserved bottles did the pH test strips suggest that preservation reached the correct pH level? YES...NO...NA

b. Did the bottle labels indicate that the correct preservatives were used? YES...NO...NA

If preservation in-house was needed, record standard ID of preservative used here _____

14. Was residual chlorine present? YES...NO...NO

I certify that I checked for chlorine and pH as per SOP and answered questions 13-14 (initial): [initials]

15. Were custody papers properly filled out (ink, signed, etc)? YES...NO...NA

16. Did you sign the custody papers in the appropriate place? YES...NO...NA

17. Were correct containers used for the analysis requested? YES...NO...NA

18. Was sufficient amount of sample sent in each container? YES...NO...NA

I certify that I entered this project into LIMS and answered questions 15-18 (initial): [initials]

I certify that I attached a label with the unique LIMS number to each container (initial): [initials]

19. Were there Non-Conformance Issues at login YES NO Was a PIPE generated YES NO

BIS Broken in shipment Cooler Receipt Form

Not signed or dated

LABORATORY REPORT

L0609077

09/08/06 15:32

Submitted By

KEMRON Environmental Services

156 Starlite Drive

Marietta , OH 45750

(740) 373 - 4071

For

Account Name: Kemron Environmental Services
1359-A ELLSWORTH INDUSTRIAL BLVD

ATLANTA, GA 30318

Attention: KELLY CLEMONS

Account Number: 2820

Work ID: DENMARK THERMAL PESTICIDE

Sample Summary

<u>Client ID</u>	<u>Lab ID</u>	<u>Date Collected</u>	<u>Date Received</u>
UNTREATED COMPOSITE SOIL	L0609077-01	02-AUG-06	02-SEP-06

KEMRON ENVIRONMENTAL SERVICES

Report Number: L0609077

Report Date : September 8, 2006

Sample Number: L0609077-01 PrePrep Method: NONE Instrument: TOC-VWP
 Client ID: UNTREATED COMPOSITE SOIL Prep Method: LYDKHN Prep Date: 09/07/2006 09:00
 Matrix: Soil Analytical Method: LYDKHN Cal Date: _____
 Workgroup Number: WG221684 Analyst: DIH Run Date: 09/07/2006 09:00
 Collect Date: 08/02/2006 00:01 Dilution: 1 File ID: TC06090809055910
 Units: mg/kg Percent Solid: 82.3

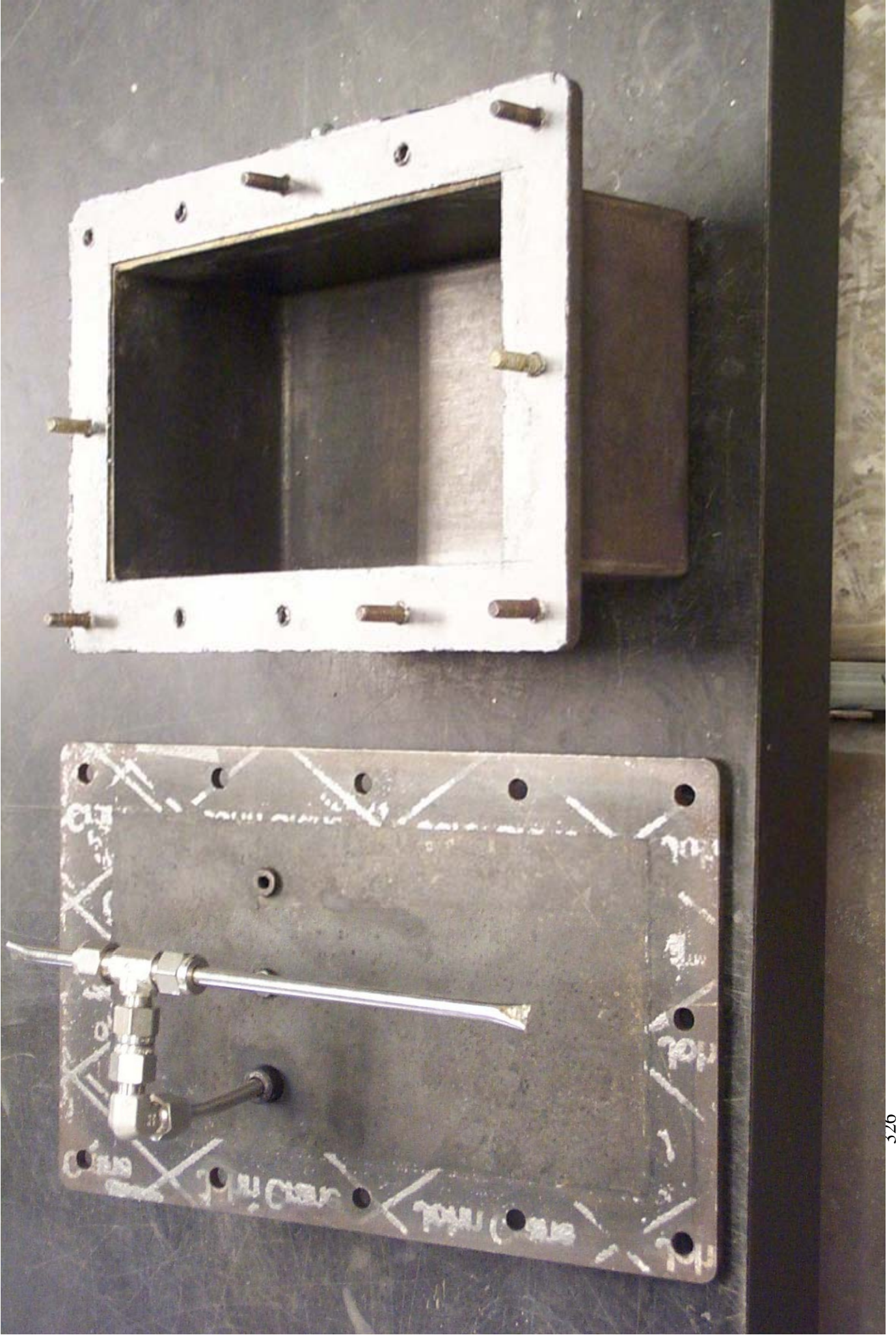
Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Total Organic Carbon		2740		1220	608

Sample Number: L0609077-01 PrePrep Method: NONE Instrument: OVEN
 Client ID: UNTREATED COMPOSITE SOIL Prep Method: D2216-90 Prep Date: 08/09/2006 08:41
 Matrix: Soil Analytical Method: D2216-90 Cal Date: _____
 Workgroup Number: WG221648 Analyst: TMM Run Date: 08/09/2006 08:41
 Collect Date: 08/02/2006 00:01 Dilution: 1 File ID: OV.0608090840-14
 Units: weight %

Analyte	CAS. Number	Result	Qual	RL	MDL
Percent Solids	10-02-6	82.3		1.00	1.00

APPENDIX C
PICTURES

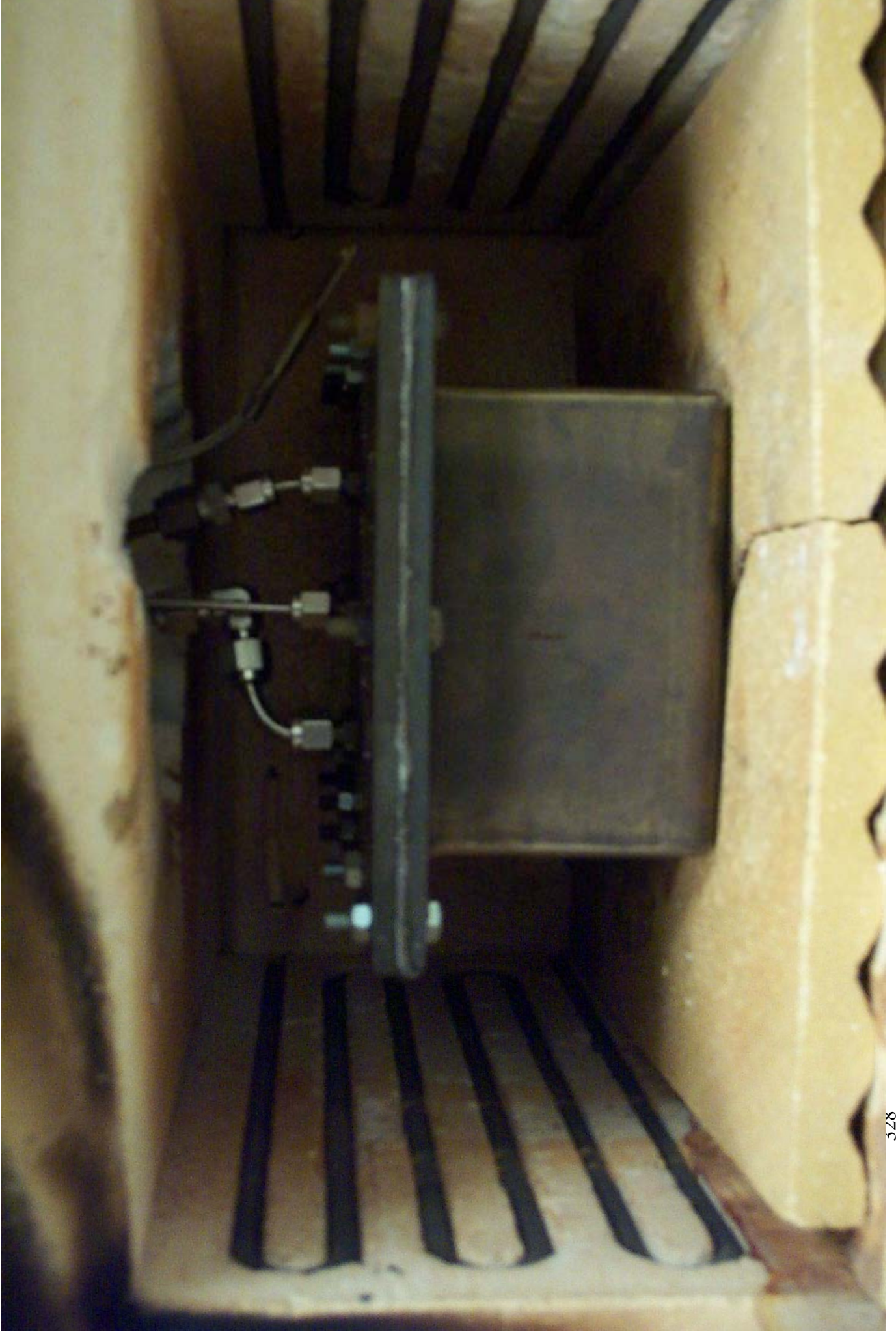
REACTOR WITH DISTRIBUTION "T"



CLOSED REACTOR WITH INPUT AND OUTPUT PORTS



REACTOR SITUATED IN OVEN



300 C TEST SET-UP



70 C, 90 C, AND 100 C TEST SET-UP



70 C, 90 C AND, 100 C TEST SET-UP



Analyseresultater fra Cheminova

Bilag J: Analyseresultater for treatability forsøg fra Cheminova.

1. forsendelse.

Alle værdier er angivet i mg/l. Bemærk at der kun er angivet stoffer som er detekteret i en eller flere prøver

Thermal extraction												
Prøve (Tilstand)	E-OOSPS	M-OOSPS	EEM-OOSPS	MIME-OOSPS	EEM-OOSPS	E-OOSPS	MP-3	EP-3	Malathion	E-Sulfotep	Amino-EP-3	Amino-MP-3
1. (Uægt prop)	<1	3	1	<1	<1	<1	3	34	<1	1	<1	<1
2. (Uægt prop)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3	<1	<1	<1	<1
3 (Smadret)												
4 (Smadret)												
5 (Smadret)												
6 (ok)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
7 (Smadret)												
8 (ok)	<1	<1	2	<1	<1	<1	<1	2800	<1	38	22	<1
9 (ok)	<1	<1	1	<1	<1	<1	4	110	3	3	<1	<1
10 (Smadret)												

Vandprøver: Lot 052906-3, SE-0168

Prøve	E-OOSPS	M-OOSPS	EEM-OOSPS	E-OOSPO	EEM-OOSPS	E-OOSPS	MP-3	EP-3	Malathion	E-Sulfotep	MP-2 syre	MP-1	Iso-MP-1	EP-2 syre	EP-1
Blank vandprøve	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1. pH #, 10 C	16	92	97	70	12	3	38	340	28	14	59	5	46	190	<0,1
2. pH 10, 10 C	10	19	31	30	7	<1	5	150	5	5	28	3	22	130	<0,1
3. pH #, 70 C	11	38	59	40	8	1	9	140	9	5	70	4	380	152	4
4. pH 10, 70 C	9	64	68	60	5	<1	7	50	6	2	140	27	700	185	11
5. Ubehandlet	170	490	70	75	170	57	830	7600	580	350	54	3	36	92	<0,1

Vandprøver: Lot 052906-3, SE-0168*

Kun analyseret for færdigvarer

Prøve	MP-3	EP-3	Malathion	E-Sulfotep
Blank vandprøve	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
1. pH #, 10 C	3,6	5,5	3,5	0,3
2. pH 10, 10 C	3,2	5,9	2,4	0,3
3. pH #, 70 C	1,5	6,0	1,7	0,3
4. pH 10, 70 C	1,0	11	0,9	0,4
5. Ubehandlet	0,9	10,6	0,9	0,4

i.a. Ikke analyseret

* NB: prøven er centrifugeret 3 min ved 3300 rpm for den er analyseret

** Dobbel bestemmelse

Bilag J: Analyseresultater for treatability forsøg fra Cheminova.

2. forsendelse.

Alle værdier er angivet i mg/l.

Prøve	Triestre**	PNF*	MP-3	EP-3	Malathion	Ethyl-Sulfotep
Ubehandlet	ja	60	400	3700	300	160
Thermal 70	ja	90	160	2900	160	110
Thermal 90	meget lidt	1300	<1	700	<1	<1
Thermal 100	intet	80	<1	300	<1	<1
Thermal 300	intet	<1	<1	<1	<1	<1
Hydrlyse kontrol	ja	60	280	2500	210	110
1. pH #, 10 C	ja	100	1200	11000	870	480
2. pH 10, 10 C	ja	70	1000	9000	770	410
3. pH #, 70 C	ja	100	330	5800	310	240
4. pH 10, 70 C	ja	260	310	9900	300	410

* Beregnet med EP3 response factor

** Visuel bedømmelse af triestremængden ud fra toppe i kromatogrammerne.

Screenings-matrix for fuldskala termisk oprensning

Bilag K: Screening-matrix for fuldskala termisk oprensning ved Høfde 42

Masse (ton)	Indenfor spuns	SV for spuns	Helt udenfor	Relativ risiko	Faktor
Over indskudte lerlag	170	1,2	1,5	81	5,7
Under indskudte lerlag	1,25	0,003	0,005	5,9	0,1
			Max ud		
			173,96		
			172,45		
					93
					10
					10

Risiko pr ton over lerlag (iht. risiko under lerlag)
 Risiko pr ton udenfor spuns (iht. risiko indenfor)

Faktor **1,05** faktor for prisstigning ved inkludering af omraade udenfor nuvaerende spuns

Scenarier indenfor spunsen

300 C over og under lerlag (ISTD med afvanding over og under lerlag)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	100	0	170	0	171,25	98,4	87	4	25
Under indskudte lerlag	100	0	1,25	0					22

300 C over lerlag, 100C under lerlag (ISTD hele dybden med afvanding over lerlag)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	100	0	170	0	171,15	98,4	86	3	33
Under indskudte lerlag	92	0	1,15	0					29

300 C over lerlag, begrænset opvarmning under lerlag (ISTD og afvanding over lerlag)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	100	0	170	0	170,625	98,1	84	2,5	39
Under indskudte lerlag	50	0	0,625	0					34

100 C over og under lerlag (ISTD)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	92	0	156,4	0	157,55	90,6	80	2	45
Under indskudte lerlag	92	0	1,15	0					40

100 C over lerlag (ISTD)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	92	0	156,4	0	156,65	90,1	76	1,5	60
Under indskudte lerlag	20	0	0,25	0					50

100 C over lerlag, 90C under lerlag (damp over+under)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	92	0	156,4	0	157,4125	90,5	79	1	90
Under indskudte lerlag	81	0	1,0125	0					79

90 C over lerlag (damp)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	81	0	137,7	0	137,7625	79,2	66	0,9	88
Under indskudte lerlag	5	0	0,0625	0					73

70 C over lerlag (varmt vand)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	22	0	37,4	0	37,4625	21,5	18	0,6	36
Under indskudte lerlag	5	0	0,0625	0					30

Scenarier udenfor spunsen

300 C over og under lerlag (ISTD med afvanding over og under lerlag)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	100	100	170	1,2	172,453	99,1	92,6	4,2	24
Under indskudte lerlag	100	100	1,25	0,003					22

300 C over lerlag, 100C under lerlag (ISTD hele dybden med afvanding over lerlag)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	100	100	170	1,2	172,3528	99,1	92,1	3,15	31
Under indskudte lerlag	92	92	1,15	0,00276					29

300 C over lerlag, begrænset opvarmning under lerlag (ISTD og afvanding over lerlag)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	100	100	170	1,2	171,8265	98,8	89,6	2,625	38
Under indskudte lerlag	50	50	0,625	0,0015					34

100 C over og under lerlag (ISTD)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	92	92	156,4	1,104	158,6568	91,2	85	2,1	43
Under indskudte lerlag	92	92	1,15	0,00276					41

100 C over lerlag (ISTD)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	92	92	156,4	1,104	157,7546	90,7	81	1,575	58
Under indskudte lerlag	20	20	0,25	0,0006					51

100 C over lerlag, 90C under lerlag (damp over+under)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	92	92	156,4	1,104	158,5189	91,1	85	1,05	87
Under indskudte lerlag	81	81	1,0125	0,00243					81

90 C over lerlag (damp)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	81	81	137,7	0,972	138,7347	79,8	70	0,945	84
Under indskudte lerlag	5	5	0,0625	0,00015					75

70 C over lerlag (varmt vand)

% fjernelse	Indenfor spuns	Udenfor spuns	Masse fjernet	Ialt (ton)	% fjernet	% risikored.	Relativ pris	%fjernet/pris	%risikored/pris
Over indskudte lerlag	22	22	37,4	0,264	37,72665	21,7	19	0,63	34
Under indskudte lerlag	5	5	0,0625	0,00015					31