

Termisk assisteret vakuumentilation

Opvarmning med varmelegemer og
termisk ledning

Thomas Hauerberg Larsen
Hedeselskabet

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

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 INDLEDNING	11
2 LOKALITETEN	13
2.1 HISTORIK	13
2.2 GEOLOGI OG HYDROGEOLOGI	14
2.2.1 <i>Geologi</i>	14
2.2.2 <i>Hydrogeologi</i>	14
2.3 FORURENING	15
2.3.1 <i>Øvre jordlag</i>	15
2.3.2 <i>Regionale sekundære magasin</i>	15
2.4 RISIKO	16
2.4.1 <i>Grundvand</i>	16
2.5 VALG AF TEKNIK	16
3 OPVARMNING VED VARMELEDNING	17
3.1 OPVARMNINGENS EFFEKT PÅ TEMPERATUREN	17
3.2 FYSISKE PÅVIRKNINGER AF JORDEN	20
3.3 PYROLYSE/OXIDATION	20
4 OPRENSNINGER I UDLANDET	23
5 DIMENSIONERING AF ANLÆG	25
5.1 ENERGIANLÆG	25
5.2 BEHANDLINGSANLÆG	27
6 ERFARINGER FRA INSTALLATIONEN	29
6.1 INSTALLATION AF VARMELEGEMER	29
6.2 ANLÆG	29
7 DRIFT OG RESULTATER	31
7.1 DRIFT	31
7.2 EFTER DRIFTEN	35
7.3 GEOTEKNISKE FORSØG	37
8 ØKONOMI	39
9 KONKLUSIONER	41
10 REFERENCER	43
Bilag 1	Situationsplan med forureningsudbredelse
Bilag 2	Boringsplan
Bilag 3	Konstruktionstegning af varmelegeme
Bilag 4	PI diagram for behandlingsanlæg

Forord

Denne rapport er udført som en del af projektet "Termisk assisteret vakuumventilation". Teknikken der blev anvendt var installation af varmelegemer ("dyppekogere") i jorden i kombination med vakuumventilation. På grund af nedbrud af varmelegemerne umiddelbart efter opstart blev oprensningen ikke ført til ende. Rapporten indeholder derfor ikke ultimative resultater fra oprensningen. I rapporten er beskrevet dels den generelle viden på området, dels de erfaringer der blev draget i projektet.

Arbejdet er udført for Frederiksborg amt, med medfinansiering af Miljøstyrelsens Teknologiudviklingsprogram. Som faglig sekretær har Tom Heron, NIRAS deltaget. Arbejdet har været fulgt af en styregruppe bestående af:

- Inger Asp Fuglsang, Miljøstyrelsen
- Preben Bruun, Miljøstyrelsen
- Charlotte Bay Schleiter, Frederiksborg amt
- Tom Heron, NIRAS

Forfatteren ønsker at takke styregruppen for det gode samarbejde.

Sammenfatning og konklusioner

Der er beskrevet og dimensioneret en oprensning med en kombination af opvarmning af jorden og vakuumventilation. Opvarmningsprincippet består i installation af et antal varmelegemer i jorden (som i en dyppekoger) hvortil der sluttes strøm. Varmen udbreder sig primært ved varmeledning. De to vigtigste parametre, der styrer varmeudbredelsen er den termiske konduktivitet og jordens varmekapacitet. Begge dele varierer afhængig af jordens vandindhold. Sammenholdt med jordens permeabilitet er variationen af de termiske parametre meget begrænset, typisk mindre end en størrelsesorden forskellige jordtyper mv. imellem. Dette betyder, at varmeudbredelsen omkring varmelegemerne er meget ensartet sammenholdt med eksempelvis vand- eller luftstrømning, der foregår i de højpermeable lag af jorden. Permeabiliteten varierer mange størrelsesordener, typisk fra ca. 10^{-11} m/s til 10^{-2} m/s, fra ler til grus.

Der er på baggrund af de fysiske love der styrer varmeudbredelsen opstillet en simpel model til beskrivelse af varmeudbredelsen til dimensionering af nødvendig effekt og tid. En afstand på ca. 5 meter mellem varmelegemerne og en temperatur på 5-600 °C blev fundet til at være optimal, ud fra et tids- og fordelingsmæssigt synspunkt. Den samlede energimængde blev beregnet til ca. 300 kWh/m³ jord.

På baggrund af dette blev et anlæg designet. Selve behandlingsdelen bestod af en række køleflader, en vakuumpumpe, kulfiltre til vand- og luftrensning samt en neutraliseringsenhed. På forhånd var det erkendt, at den PCE der var tilstede i jorden kunne omsættes til saltsyre. Denne saltsyre blev neutraliseret ved dosering af kaliumhydroxid (kalilud).

Varmelegemerne blev konstrueret af et engelsk firma, Heatex, der har stor erfaring fra varmelegemer i industrianlæg mv. Selve designet blev udført af Heatex, som en bygherreleverance, på baggrund af specifikationer fra Hedeselskabet.

Anlæg og varmelegemer blev installeret på lokaliteten Ravnsbjergvej 8, Alsønderup ved Hillerød. Jorden var stærkt forurenede med PCE ned til ca. 10 m dybde på et areal på ca. 75 m² tæt på og under to eksisterende bygninger. Jorden bestod i det forurenede volumen af moræneaflejringer med vekslende lerindhold.

Anlægget blev startet, men efter ca. 24 timers drift kunne fejl på selve varmelegemerne konstateres. På dette tidspunkt var der kun observeret temperaturstigninger i jorden tættest på varmelegemerne, og en egentlig oprensning var selvfølgelig ikke foregået. Anlægget blev stoppet. Efter en del korrespondance mellem sagens parter, blev det besluttet at tage varmelegemerne op af jorden. Det kunne konstateres, at selve varmelegemerne var gennemtæret i løbet af de 24 timer, hvilket havde ført til, at der var opstået kortslutning til jorden og lysbuer, der dannede meget høje temperaturer (> 1000 °C). Dette havde ødelagt hele konstruktionen.

På denne baggrund lykkedes det derfor ikke at gennemføre en afprøvning til fulde af teknologien, idet det i forbindelse med processen omkring ansvarsfordelingen blev besluttet af Frederiksborg amt at rive en del af bygningerne ned, og opbore en del af den forurenede jord kombineret med en efterbehandling med kaliumpermanganat af restforureningen.

På baggrund af afprøvningen af metoden termisk assisteret vakuumventilation med opvarmning ved hjælp af varmelegemer og varmeledning kan følgende hovedkonklusioner drages:

- Der er store udfordringer i design af selve varmelegemerne, både med hensyn til materialevalg og opbygning. I denne afprøvning var sammenbrud af varmelegemerne pga. korrosion årsagen til, at driften måtte afsluttes uden en egentlig oprensning, metoden er således stadig ikke dokumenteret under danske forhold.
- Metoden er relativt dyr og energikrævende. For flygtige stoffer er det beregnet ved dimensioneringen, at der skal anvendes ca. 300 kWh/m³. I amerikanske oprensninger er der ved samme typer stoffer i et dokumenteret tilfælde brugt ca. 360 kWh/m³. Enhedsomkostningerne er stærkt afhængige af størrelsen på oprensningen. Amerikanske data på små oprensninger (lidt større end Alsønderup) ligger i intervallet 2.000-3.000 kr./ton jord. De samlede omkostninger i Alsønderup projektet giver en enhedspris på ca. 3.600 kr./ton jord. Forskellen skyldes primært forskelle på priserne på energi og maskindele, samt at hele anlægget til Alsønderup afskrives på denne sag alene.
- Metoden er dokumenteret meget effektiv både overfor de flygtige forureninger som TCE, PCE, TCA etc., men også for mindre flygtige komponenter som PAH, pentachlorphenol, gasolier mv. I amerikanske oprensninger, hvoraf der pt. er udført 17, er oprensningseffektiviteten i de fleste tilfælde større end 99 %.
- I forhold til teknikkens anvendelse vurderes det, udover prisen, at der er udfordringer i to retninger. Dels er der en række patenter der beskytter metoden og således reducerer konkurrencen, dels er der muligvis geotekniske problemer, specielt ved udtørring af jorden. De geotekniske implikationer er ikke dokumenteret i det tilgængelige materiale fra de amerikanske oprensninger, men laboratorieforsøg udført af GEO i forbindelse med evalueringen af metoden indikerer mulige volumenreduktioner på op til 2-3 %. Det er dog usikkert om ændringerne under feltforhold er de samme.
- Samlet set vurderer Hedeselskabet stadig metoden kan være attraktiv, specielt ved dybere forurening. For at opnå en større sikkerhed for succes anbefales det at anvende de amerikanske varmelegemer ved en senere afprøvning, eventuelt ombygget til europæisk strømforsyning.

Summary and conclusions

A remediation based on a combination of soil vapour extraction and conductive heating of the soil was designed. Heating was performed by installing a number of AC-powered heating elements in the soil. The spread of energy by this method is primarily conductive heating. The two parameters controlling the energy spreading are the heat capacity of the soil and its thermal conductivity. Both parameters vary depending on the soil's water content. Compared to permeability, the thermal parameters vary very little, typically by less than one order of magnitude. This implies a very small variation in temperature around the heating elements compared to variations in the flow of water or soil gas, which occurs in high-permeable regions in the soil.

Based on the thermodynamic laws of heat transfer, a simple spreadsheet model was developed to describe the spread of energy in the soil and to determine optimal distances between heaters, temperature of heaters and warm-up time. Five meters was found to be an optimal distance between the elements in the actual setup, where a heater temperature of 500-600°C was chosen. The total amount of energy was calculated to be in the range of 300 kWh/m³ soil.

The actual treatment plant was based on the calculations. It consisted of a number of cooling devices, a vacuum pump, GAC filters for water and air treatment and a neutralizer. From the start we assumed that hydrochloric acid would be produced from oxidation/pyrolysis of PCE, this was handled in the neutralizer by adding potassium hydroxide.

The heaters were made by Heatex Ltd. an English based company, which had experience from chemical plants etc. The design was performed by Heatex on the basis of specifications from Hedeselskabet.

The treatment plant as well as the heaters were installed at Ravnsbjergvej 8, Alsønderup, Hillerød. The soil at the site was contaminated with PCE in relatively high concentration. The contamination was located in an approximately 75 m² area down to 10 m below ground surface, near and under two buildings. The soil was clayey till with variable clay content.

The remediation was started, but after only 24 hours defects in the heater elements were observed. At this early stage temperature increase was only observed very near the elements. No significant remediation had actually taken place at this stage. The heaters and treatment plant were shut down. After some correspondence between manufacturer, consultant and county the heaters were withdrawn from the soil. Visual examination revealed that the heater elements were corroded. This had led to short circuiting and light arcs in the soil with temperatures above 1000°C, which harmed the elements as well as the rest of the construction. At the time of this report it is still unclear who will have to pay for the faulty design.

Due to this it was not possible to test the technology in a Danish environmental setting. During the litigation process another technology was chosen to do the actual clean-up.

Based on this very preliminary trial of conductive heating combined with SVE the following conclusions are drawn:

- Great care has to be taken in the design and choice of materials used in the heaters themselves as well as the rest of the treatment plant. In this trial corrosion of the heater elements was the basic defect that led to complete breakdown of the heaters. Due to this the technology was not tested completely in a Danish setting.
- The technology is rather expensive and uses high amounts of electrical energy. For VOCs an energy amount of app. 300 kWh/m³ soil was estimated to attain an adequate temperature. A US remediation reported an energy consumption of 360 kWh/m³. The unit costs depend heavily on the size of the site. American data shows costs in the range of DKK 2,000-3,000 per tonne soil (€270-400 /tonne) for small sites. This site has a projected cost of app. DKK 3,600 /tonne soil (€480 /tonne). The difference can be ascribed to higher machinery, energy and labour costs in Denmark compared to the US as well as the fact that the total cost of the treatment plant was assigned to this remediation solely.
- The technology is well documented from 17 sites in the US. Both VOCs (TCE, PCE, TCA etc.) and SVOCs (PAHs, pentachlorophenol, diesel) have been removed with efficiency above 99 %.
- The technology faces a couple of potential problems beyond the price. US patents control the number of companies that offer the technology, thereby limiting competition. Also potential geotechnical implications may occur during heating. Lab experiments carried out as a part of this trial showed a volume decrease of up to 3 % of the soil when it dried out, even when the soil was re-watered afterwards. It is unclear whether or not this occurs at field scale. A measuring programme in this trial was planned but was not completed. No geotechnical issues have been described from the American sites.
- Overall Hedeselskabet evaluates the technology positively, especially for organic contaminants in deeper, low-permeable geologies. In order to obtain a greater rate of success, new tests should be performed with American heating elements.

1 Indledning

Klorerede opløsningsmidler udgør sammen med pesticider de hyppigst forekommende miljøfremmede kemikalier i vandforsyningsboringer, der er blevet lukket. Dette gør, at der har været et fokus igennem en årrække på hvordan disse stoffer bedst fjernes eller reduceres i forbindelse med afværge af punktkilder.

Der er afprøvet en lang række in-situ teknikker overfor disse stoffer både i Danmark og i udlandet. I mindre komplicerede geologier har en række af metoder vist sig at have succes i større eller mindre grad, hvorimod det i mere komplicerede geologier som moræneler eller opsprækkede medier som kalk har været vanskeligt at udføre oprensninger med større succes.

En teknik der med fordel kan anvendes i præcis denne type af medier overfor både klorerede opløsningsmidler og andre flygtige til tungt flygtige stoffer er præsenteret i denne rapport. Teknikken er karakteriseret ved en kombination af opvarmning af jorden/grundvandet ved varmeledning i kombination med en oppumpning af dannede dampe og eventuelt overskudsvand. Metoden kan betegnes med navnet termisk assisteret vakuumventilation, dog er der væsentlige forskelle på både fjernelsesmekanismer og anvendt grej i forhold til den traditionelle vakuumventilation.

Teknikken er forsøgt anvendt på en forurening med klorerede opløsningsmidler på en lokalitet i Alsønderup, NV for Hillerød. Rapporten beskriver dels den teoretiske baggrund for anvendelse af teknikken samt de opnåede resultater i forbindelse med afprøvningen.

Rapporten er opbygget med følgende afsnit:

Sammenfatning og konklusioner.

Kapitel 1, dette kapitel.

Kapitel 2 indeholder en gennemgang af forholdene på lokaliteten for afprøvningen.

Kapitel 3 indeholder teori omkring anvendelse af opvarmning som middel til fjernelse af flygtige og lidt tungere komponenter i forbindelse med anvendelse af varmelegemer som energikilde. Der fokuseres bl.a. på varmeudbredelsen, hastigheder og kemiske reaktioner.

Kapitel 4 indeholder en kort gennemgang af erfaringer fra USA.

Kapitel 5 indeholder en gennemgang af dimensioneringen af det opstillede anlæg samt en gennemgang af den faktuelle opbygning.

Kapitel 6 beskriver de erfaringer der blev gjort i forbindelse med etableringen og installationen af anlægget.

Kapitel 7 beskriver driften og de forhold/erfaringer der blev gjort under denne.

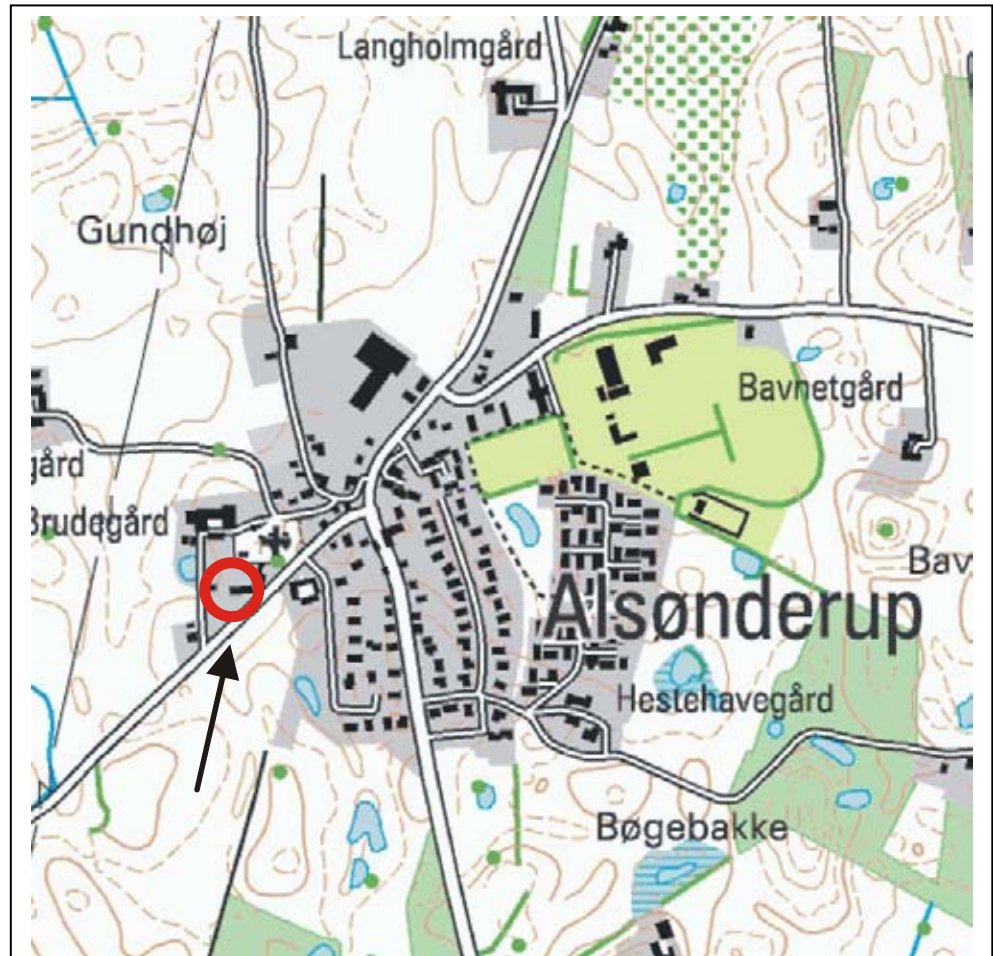
Kapitel 8 beskriver økonomien i oprensningen og sammenholder dette med data fra fuld skala oprensninger med samme teknik i USA.

Kapitel 9 beskriver de samlede konklusioner fra oprensningen.

Kapitel 10 indeholder referencer.

2 Lokaliteten

Teknikken blev afprøvet på lokaliteten Ravensbjergvej 8 i Alsønderup lidt NV for Hillerød. Lokaliteten var et tidligere renseri, der nu er overgået til at være et almindelig beboelse. I figur 2.1 er vist placeringen af lokaliteten. I bilag 1 er vist en situationsplan. Afsnittet bygger fortrinsvis på informationer fra Carl Bro 1999 og Falkenberg 1998a og 1998b.



Figur 2.1 Placering af lokaliteten. Skala 1:25.000

2.1 Historik

Lokalitetens historik er relativt kort beskrevet i de indledende arbejder. Det ligger fast, at der i den vestlige ende af bygningen i en periode har været drevet renseri og vaskeri samt at dele af bebyggelsen i en periode har været anvendt til forsamlingshus. Der er ikke informationer om andre arealanvendelser, der kan have ført til forurening med opløsningsmidler.

2.2 Geologi og hydrogeologi

2.2.1 Geologi

Overfladekoten træffes på lokaliteten i ca. kote 21. Geologien, defineret ud fra tidligere udførte boringer, kan overordnet beskrives ved en sekvens af muld og/eller fyld i 0,5-1,2 mut., underlejret af mere eller mindre sandet moræneler ned til 12-13 mut. Herunder er der konstateret finsand/silt ned til ca. 16-17 mut, hvor der træffes en mindre permeabel sekvens af silt/ler på ca. 2-3 meters tykkelse. Fra 19-20 mut og ned til afslutningen af de udførte boringer (max 25 m.u.t) er der igen finsand.

Jf. basisdatakort fortsætter den glaciale lagserie ned til kalkoverfladen træffes ca. 50 mut. I nærliggende DGU boringer er der i nogle områder op til 20 m moræneler (DGU nr. 187.72) over kalken i andre sand (DGU nr. 187.607).

2.2.2 Hydrogeologi

Lokaliteten ligger i et særligt drikkevandsområde.

Der er i de udførte undersøgelser konstateret to magasiner, dels et øvre sekundært, der må betragtes som temporært med hængende, ikke altid sammenhængende vandspejl, formentligt stærkt påvirket af nedbøren, og dels et dybere liggende regionalt primært/sekundært magasin, der anvendes til indvindingsformål.

Jf. basisdatakortet, er der indikation af, at der i nogle områder kan være hydraulisk sammenhæng mellem det nedre sekundære magasin og det egentlige primære magasin lokaliseret i kalken. Der er knyttet vandindvindingsinteresser til både det regionale sekundære magasin samt det primære magasin, idet der er indvinding fra det sekundære magasin ved Alsønderup kildeplads beliggende 600 m SØ for grunden og i kalkmagasinet både ved Alsønderup og Nejede, der ligger ca. 2000 m i sydvestlig retning.

Iflg. kort fra Frederiksborg Amt over indvindingsoplandene er disse til begge kildepladser enten overlappende lokaliteten eller grænsende op til denne. Af kortet over indvindingsoplandene ses det, at den overvejende strømningsretning i det primære magasin foregår i SV retning.

Det øvre sekundære magasin er knyttet til overgangen mellem lag med forskellige permeabilitet i morænen, typisk lige under rodzonen i ca. 2 mut.

Transmissiviteten i det dybe sekundære magasin er bestemt ved pumpetest over relativt lange filtre, der gennemskærer hele magasinet. Beregnet på baggrund af pumpetest er fundet en værdi af K på knap $1 \cdot 10^{-4}$ m/s. Magasinet er sandsynligvis spændt.

Vandet strømmer overordnet i NØ retning, selvom der er konstateret retninger i et 180 ° spektrum, dvs. fra NØ \Rightarrow N \Rightarrow V \Rightarrow SV \Rightarrow SØ. Hvorvidt dette skyldes ændringer i pumpestrategi på de nærliggende vandværker eller andre forhold er ikke afklaret, men er sandsynligvis forklaringen. Der er igennem 14 pejlerunder fundet gradienter i intervallet fra 0,1-2,5 ‰. Gennemsnittet er vurderet til at være ca. 1,5 ‰. Dette svarer til, at der er en partikel hastighed på 15-25 m/år.

I NØ retning ligger i ca. 400 m afstand DGU 187.73 (filtersat i det primære magasin) og tættere på Pøle å DGU 187.149 og 187.490, begge filtersat i det dybe sekundære magasin. Pøle å forventes at afvande en del af vandet fra det dybe sekundære magasin og agerer således som recipient for en del af forureningen.

2.3 Forurening

Der er konstateret en forurening med PCE på grunden, samt i et meget begrænset omfang nedbrydningsprodukterne TCE og DCE. Der er ikke indikation i nogen af de udførte analyser på, at der foregår en massiv omsætning af PCE. Herudover er der konstateret en lokal forurening med olieprodukter. I Bilag 1 er vist en situationsplan med forureningsudbredelsen.

2.3.1 Øvre jordlag

Omfanget af forureningen er bestemt dels ud fra jordprøver, vandprøver og analyser udført med Gore-Sorber (i princippet en poreluftanalyse). Falkenberg 1998b angiver, at det mest forurenede område (med vandkoncentrationer > 1mg/l) har en udstrækning af ca. 600 m², med en centralt hot-spot omkring bygningen med koncentrationer op til 200 mg/l i en enkelt prøve. Dette er efterprøvet i Carl Bro 1999, hvor det med Gore-sorber analyserne blev eftervist et forureningsomfang meget lig udbredelsen i Falkenberg 1998, med et hot-spot på 100-200 m². Se i øvrigt teknologirapporten udarbejdet af Hansen 2000 om Gore-sorber metoden.

Det er ikke forsøgt at estimere den samlede PCE masse i de tidligere udførte undersøgelser. I det følgende er dette forsøgt. Hvis det værst forurenede område udgør 100-200 m² og der er fundet en koncentration i vandet i dette område på 10-20 mg/l, ekskl. nærområdet ved B2, svarer dette til en ligevægts total koncentration i jorden på 5-10 mg/kg eller ca. 10-20 g/m³. Hvis der tages udgangspunkt i PID profilerne fra de 3 undersøgelser ses, at forureningens vertikale udstrækning typisk er i størrelsen 3 m i det vandbærende lag. Dette giver en samlet PCE mængde i størrelsen 5-10 kg ekskl. nærområdet ved B2. Her er der fundet op til 4500 mg/kg (fri fase). Den horisontale udbredelse af disse høje koncentrationer er meget begrænset, under 25 m². Ved en udbredelse til 5-10 m² i dette område (er ikke bestemt da B2 er stoppet i 3 m uden afgrænsning) og en gennemsnitskoncentration på 1000-5000 mg/kg vil der i selve hot-spottet være en maksimal masse 200-2000 kg PCE. Det ses således, at langt den største massedel formentlig er beliggende i et relativt begrænset område. I skitseprojekteringen blev der anvendt en masse på 100 kg PCE i kildeområdet som udgangspunkt for sammenligning mellem forskellige metoder.

2.3.2 Regionale sekundære magasin

Der er i dette magasin udtaget en række vandprøver. Indholdet har varieret fra ca. 0,5 µg PCE/l til 30 µg PCE/l afhængig af hvilket filter, prøvetagningstidspunkt og metode der har været anvendt. Der er i en lang række af analyserne fundet mere end grænseværdien for drikkevand på 1 µg/l.

Udover PCE er der specielt i prøverne udtaget i forbindelse med Carl Bro 1999 fundet TCE og i en enkelt prøve DCE.

De højeste koncentrationer er konstateret i en boring, placeret lidt SV for de højest fundne koncentrationer i de øvre jordlag.

Der er således en relativt god overensstemmelse mellem observationer i øvre lag og det underliggende magasin

2.4 Risiko

2.4.1 Grundvand

Da der er konstateret koncentrationer på over 1 µg/l af klorerede opløsningsmidler i et sammenhængende regionalt magasin, der anvendes til indvindingsformål og samtidig er udpeget til særligt drikkevandsområde er der jf. Miljøstyrelsen 1998 tale om en risiko ved forureningen. Belastningen af det underliggende magasin kan indledende beregnes ud fra risikovurderingen for grundvand. På baggrund af JAGG beregninger vurderes den samlede masseudvaskning at være 10-100 g/år. Det vil ikke ved dispersion være muligt at komme under 1µg/l i magasinet indenfor en strømningstid på 1 år, ligesom der ikke ved de udførte analyser kan dokumenteres at nedbrydning giver en signifikant reduktion indenfor 1 års strømningstid.

Indeklima

I Falkenberg 1998a er det angivet, at der er fundet 180 mg PCE/m³ umiddelbart under gulvet. Denne koncentration giver et indeklimabidrag på mere end 6 µg/m³. Det må derfor vurderes, at der er en potentiel risiko for indeklimaet.

2.5 Valg af teknik

På baggrund af risikovurderingen blev der udarbejdet et skitseprojekt på hhv. en termisk løsning og en løsning der kombinerede nedrivning, spunsning og opgravning.

P.g.a. den relativt store dybde som forureningen er trængt ned i, op til ca. 10 m underterræn baseret på PID profilerne fra jordprøverne, samt at forureningen i et vist omfang lå under eksisterende bygninger gjorde, at opgravningsløsningen og den termiske løsning blev estimeret til at være sammenlignelige omkostningsmæssigt.

På denne baggrund besluttede Frederiksborg amt at iværksætte en oprensning med opvarmning af ler, da det umiddelbart var forbundet med mindre gener og havde stort set samme forventede omkostning som en mere traditionel opgravning.

To mulige termiske teknikker havde været overvejet i forbindelse med skitseprojekteringen, dels opvarmning med varmelegemer og dels direkte elektrisk opvarmning.

Hedeselskabet vurderede, at med det relativt beskedne areal der skulle opvarmes, samt, at der var bygninger på grunden der blev anvendt, at de sikkerhedsmæssige forhold gjorde en løsning med opvarmning af jorden via varmelegemer til den mest fordelagtige metode.

3 Opvarmning ved varmeledning

Ved opvarmning med varmeledning opnås de samme overordnede fordele i forhold til fjernelse af organiske stoffer som med andre opvarmningsteknikker (dampinjektion og opvarmning ved direkte udnyttelse af jordens elektriske ledningsevne). Disse fordele kan kort opridses i følgende punkter:

- Kraftigt forøgede damptryk af stofferne, dvs. tendens til at gå på gasfase fra fri fase dråber i jorden
- Kraftig forøgelse af Henrys lov konstanten, dvs. tendens til at gå på gasfase for stoffer opløst i porevand/grundvand
- Reduktion af stoffernes viskositet, dvs. en øget mobilitet af frie faser
- Forøgelse af diffusionshastigheden

For yderligere uddybning af disse effekter se eksempelvis Heron et al 1998 og Larsen 2000.

Herudover er der for opvarmning med varmelegemer nogle særegne effekter som er beskrevet mere uddybende i de følgende afsnit.

3.1 Opvarmnings effekt på temperaturen

I modsætning til injektion af damp, hvor energien primært transporteres ved advektion, er opvarmningen med varmelegemer stort set udelukkende kontrolleret af varmeledning, en proces der matematisk beskrevet er analog til diffusion.

Selve opvarmningen foregår enten ved installation af varmelegemer, som dem der kendes fra dyppekogere i jorden i borer eller ved udlægning af varmelegemer på jordoverfladen med overliggende isolering.

Varmeudbredelse kan i det én dimensionelle beskrives tilfælde ved varmeledningens ligning:

$$\dot{q} = A \cdot k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

hvor \dot{q} er energimængden pr. tid der transporteres (J/s = Watt)

A er arealet som ledningen sker igennem (m²)

k er varmeledningstallet (W/m K)

$\partial T/\partial x$ er temperaturgradienten (K/m).

For en boring med et installeret varmelegeme vil ligningen kunne skrives som:

$$\dot{q} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot k \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \quad (2) \Downarrow$$

$$\frac{\dot{q}}{2 \cdot \pi \cdot h \cdot k} \ln(R / R_E) = (T - T_0) \quad (3)$$

hvor \dot{q} er energimængden pr. tid der transporteres (J/s = Watt)

r er afstanden fra boringen (m)

h er højden af boringen (m)

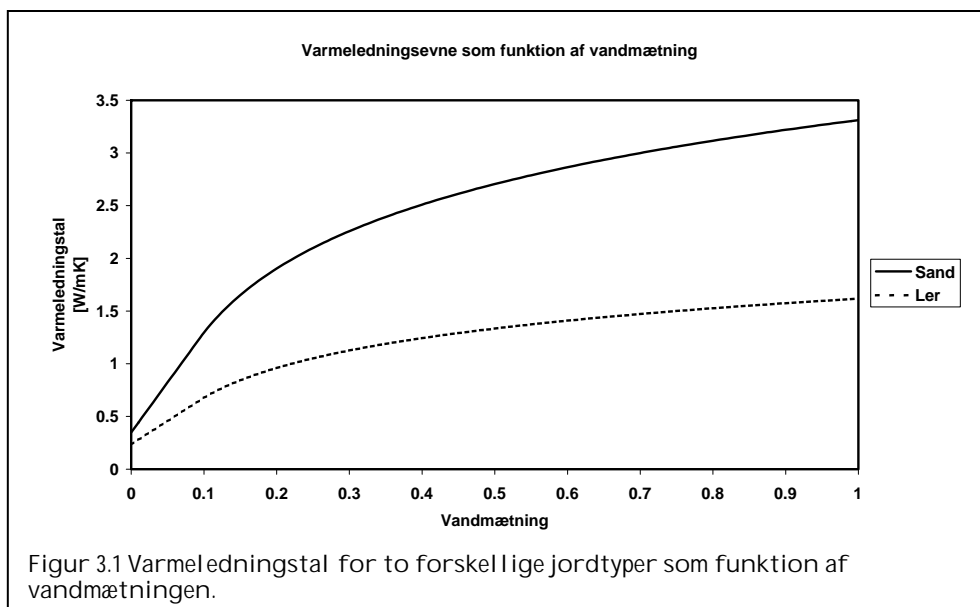
Ligning 3 angiver løsningen på den stationære energistrømning, hvor R_E er afstanden hvortil der er opvarmning og T_0 er udgangstemperaturen.

Varmeledningstallet k er en stoffs specifik parameter, der varierer afhængigt af sammensætningen af det stof som ledningen foregår i. Materialer med lavt varmeledningstal kaldes isolatorer. I tabel 3.1 er angivet varmeledningstal for en række materialer til sammenligning.

Tabel 3.1. Varmeledningstal for forskellige materialer ved 20 °C.

Materiale	Varmeledningstal (W/mK)
Aluminium	229
Jern, smede	59
Støbejern	58
Kromnikkelstål	15
Kobber	395
Beton	1,3
Granit	2,9
Mineraluld	0,04
Vand	0,6
Luft, tør	0,03
Luft, våd	0,1
Tørt sand, tætpakket	0,3
Tørt sand, løst pakket	0,2
Vådt sand, tæt pakket	2,3
Vådt sand, løst pakket	1,7

Det ses af tabel 3.1, at luft er den dårligste varmeleder i tabellen, hvilket udnyttes i mange isoleringsmaterialer, hvorimod metallerne er meget gode varmeledere. Jords (sand og ler) varmeledende egenskaber er stærkt præget af vandindholdet. I takt med, at en større del af porerummet drænes eller når vandet fjernes ved fordampning udfyldes hulrummet af luft, der er en betydeligt dårligere varmeleder end vandet. Som det ses af tabel 3.1 og figur 3.1 varierer varmeledningsevnen for jord afhængigt af vandindholdet indenfor ca. én størrelsesorden i intervallet 0,2-3 W/mK. Samtidig ses det, at variabiliteten mellem forskellige jordtyper er meget lille, typisk i størrelsen en



Figur 3.1 Varmeledningstal for to forskellige jordtyper som funktion af vandmætningen.

faktor 2. Sammenholdt med variabiliteten i hydraulisk/pneumatisk ledningsevne er dette fuldstændig insignifikant, idet denne typisk varierer over mange størrelsesordener, eksempelvis fra 10^{-10} m/s for ler til 10^{-2} m/s for grovt sand/grus.

Gudbjerg 1999, og kilder citeret heri, baserer beregningen af varmeledningstallet i jord på baggrund af kvartsindhold, porøsitet og vandmætning. I figur 3.1 er sammenhængen mellem varmeledningstallet og vandindholdet i en smeltevandssand bestående af 90 % kvarts og en lerjord med 10 % kvarts vist til illustration baseret på disse formler.

En mere teoretisk uddybende tilgang til hvordan varmeledningen kan estimeres ud fra viden om jordens tekstur mv. kan eksempelvis findes i Ochsner et al. 2001 og Hansen 2002. Begge kilder bygger i stort omfang på arbejdet udført af DeVries 1963.

Akkumulering af energi i jorden sker i form af en temperaturstigning. Jordens varmekapacitet (energimængden der skal til for at hæve temperaturen i 1 kg 1 grad celsius) er en funktion af vandindholdet, dog gælder en væsentligt mere simpel sammenhæng end for varmeledningstallet. De enkelte materialers (jordpartikler, vand og luft) varmekapacitet kan adderes direkte og på denne måde bestemmes.

I tabel 3.2 er vist varmekapacitet for forskellige materialer til sammenligning.

Tabel 3.2. Varmekapaciteter for forskellige materialer ved 20 °C.

Materiale	Varmekapacitet (J/kg K)
Aluminium	896
Jern, smede	465
Støbejern	540
Kromnikkelstål	477
Kobber	400
Beton	879
Granit	800
Mineraluld	
Vand	4200
Luft	1000
Tørt sand, tætpakket	760
Tørt sand, løst pakket	760
Vådt sand, tæt pakket	1870
Vådt sand, løst pakket	2800

Det ses af tabel 3.2, at varmekapaciteten for jord stort set kun er afhængig af vandindholdet, idet den mineralske fraktion har en kapacitet på ca. 800 J/kgK og andelen fra luft er negligerbar.

I forhold til opvarmning med et nedsænket varmelegeme i jorden kan der opstilles en ligning, der beskriver den instationære udbredelse af energien omkring varmelegemet. Denne kan opskrives som:

$$\frac{\partial(2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot k \cdot \frac{\partial T}{\partial r})}{\partial r} \cdot dr = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot dr \cdot c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2) \Downarrow$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} + r \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = \frac{c_p \cdot \rho}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3)$$

hvor c_p er varmekapaciteten (J/kg K), ρ er massefylden af jorden (kg/m^3), t er tiden og resten af parametrene som tidligere angivet.

Forudsætningen for at løse ligning 3 analytisk er, at varmekapaciteten, massefylden og varmeledningstallet er konstant i tid og afstand fra boringen. Det er sandsynligvis en rimelig antagelse, at parametrene er konstante i forhold til afstanden inden opvarmning. Derimod vil både varmekapaciteten og varmeledningstallet variere som følge af udtørring igennem opvarmningsprocessen. Variationen på parametrene vil følgelig både variere som funktion af tid og sted.

Dette indikerer, at det er nødvendigt at anvende numeriske simulationsværktøjer i forbindelse med dimensionering af en oprensning baseret på varmeledning. En numerisk løsning af ligning 3, med forsimplede forudsætninger blev anvendt til dimensionering udført på den konkrete lokalitet.

3.2 Fysiske påvirkninger af jorden

I forbindelse med opvarmningen sker der en udtørring af jorden, specielt i nærområdet omkring varmelegemerne. Dette giver anledning til dels en forøget mængde porer, der er åbne for gastransport, og hermed en større effektiv gaspermeabilitet og dels en mulighed for ændring af jordens geotekniske egenskaber. Temperaturen i nærområdet omkring varmelegemerne kan blive meget høj, helt op til 600-700 °C, hvilket medfører en total udtørring og delvis oxidation/pyrolyse af organisk stof i jorden. Specielt organiske jordtyper vil have en stor risiko for at skrumpe voldsomt, ligesom ler i et vist omfang også vil have risiko for reduktion på grund af udtørring, se afsnit 7.3 for forsøg udført på lokaliteten.

I forbindelse med udtørringen sker der en øgning af gaspermeabiliteten, hvilket forårsager en bedre mulighed for at ekstrahere de dannede dampe. Hvis varmelegemerne kombineres med selve ekstraktionsboringen trækkes de dannede dampe igennem varmere og varmere zoner. En følge af at placere varmekilde og udsugningspunkt i samme boring er, at den dannede vanddamp bliver opvarmet til legemetemperatur igennem transporten mod varmelegemet, hvilket kræver ekstra energi. Eksempelvis vil en opvarmning fra 100 til 600° C af dampen kræve en ekstra energitilførsel på knap 100 kWh/m³ jord, såfremt alt vandet fordamper. I nærområdet af varmelegemerne sker der samtidig en temperaturstigning til over 100 °C, der også skal energi til.

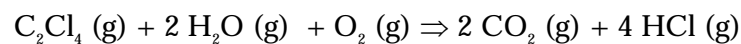
3.3 Pyrolyse/oxidation

Ved opvarmning til høje temperaturer omkring varmelegemerne kan der ske en oxidation eller pyrolyse. Pyrolyse er en destruktion af de organiske stoffer uden ilt, hvor der fraspaltes gasser fra forbindelserne. Iltindholdet i jorden er

dermed medvirkende til at kontrollere hvilken form for proces stofferne underkastes. Da der er vakuum påtrykt jorden, vil der specielt i de øvre dele af jordsøjlen være en vis iltkoncentration tilstede pga af strømmende luft fra overfladen. Stofferne i denne zone vil her kunne oxideres og eventuelt i dybere zoner underkastes pyrolyse såfremt temperaturen er tilstrækkelig høj.

Pyrolyse- og oxidationstemperaturen er meget stofafhængig. For PCE har Taylor et al., 1996 vist, at der først begynder at ske en pyrolyse i intervallet 700-850° C, hvor der fraspaltes dichloracetylene, hexachlorbenzene, frit chlor carbontetrachloride og hexachlorobutadiene. I en reaktor med stort overfladeareal skete processen ved de laveste temperaturer.

En oxidation PCE kan også finde sted efter følgende reaktionsligning:



Forbrændingsenergien for processen svarer til -660 kJ/mol PCE (ca. 4000 kJ/kg). Gibbs fri energi for reaktionen er +27 kJ/mol PCE. Dette betyder at processen ikke forløber spontant, men kræver energitilførsel for at initieres. Til sammenligning giver propanforbrænding ca. -2000 kJ/mol propan (ca. 46.000 kJ/kg). Gibbs energi for denne reaktion er ca. -2000 kJ/mol svarende til at processen er spontan. Som det ses af reaktionsligningen dannes der ved den oxidative proces saltsyre.

Da oxidationsprocessen ikke er spontan termodynamisk kræver den normalt både høje temperaturer og en vis reaktionstid for at forløbe. Lee et al., 1999 angiver, at temperaturen for klorerede opløsningsmidler, der brændes af ved direkte flamme bør holdes over 925 °C. Ved katalytisk oxidation anvendes ofte temperaturer i området omkring 800-900°C ved forbrænding af chlorerede opløsningsmidler, hvilket viser deres relativt store modstandsdygtighed overfor oxidation. Ved så høje temperaturer og en tilpas lang opholdstid opnås fjernelsesrater på 99,9 % eller mere.

4 Oprensninger i udlandet

Metoden ved anvendelse af jordens generelle varmeledende egenskaber i kombination med et varmelegeme til oprensning af organiske forureninger stammer fra USA. Her har firmaet TerraTherm en række patenter på varmelegemernes konstruktion etc. Metoden blev oprindeligt udviklet for Shell Exploration and Production Ltd. til forøgelse af olieudvinding. Teknikken blev også afprøvet i forbindelse med oprensning på bl.a. raffinaderianlæg. Shell har nu trukket sig ud af jordrensningsprojekter og overladt patenterne på metoden til University of Austin Texas. TerraTherm udnytter en del af disse patenter og anvender metoden på kommerciel basis i USA i dag. Der er til dato udført en række pilotskala oprensninger såvel som fuldskala oprensninger også i kombination med andre metoder eksempelvis damp (Heron et al. 2004)

Terratherm har jf. deres hjemmeside (www.terratherm.com) 17 igangværende eller afsluttede projekter hvor teknologien har været eller bliver benyttet. De fleste af disse har været rettet mod tungere komponenter som PCB, PAH og lignende. En del af projekterne har også været rettet mod flygtige stoffer, inklusive en case i Indiana med en forureningssammensætning og jordbundsforhold meget lig Alsønderup. I denne case var der udgangskoncentrationer på op til 3.500 mg PCE/kg. Efter endt afkøling var der i det ene felt ingen prøver over detektionsgrænsen (ikke opgivet) og i det andet felt ingen prøver over 0,5 mg/kg. En del af denne oprensning forgik under bygninger. Den hydrauliske ledningsevne på intaktprøver var i størrelsen $3 \cdot 10^{-10}$ m/s

Generelt er der i de rapporterede cases meget høje oprensningseffektiviteter og meget små restkoncentrationer, selv overfor de meget lidt flygtige stoffer som PAHerne. På en tidligere træimprægneringsgrund i Alhambra, Californien blev der eksempelvis rensset op fra ca. 30 mg PAH som B(a)P ækvivalenter/kg i gennemsnit til 0,023 mg/kg svarende til en effektivitet på mere end 99,9 %. På figur 4.1 er vist et billede af layout af varmelegemerne oprensningen.

Opvarmningstemperaturen har i mange af oprensningerne været mindst 325°C, hvor målkomponenterne har været mindre flygtige som pentachlorphenol og PAHer. For de flygtige stoffer, som TCE, PCE mv. har temperaturen været 100°C. LaChance et al (2004) angiver fra en oprensning i midtvesten, USA, at allerede ved temperaturer i intervallet 54-82° C var der reduktioner af PCE på ca. 90 %. I denne oprensning var det totale energiforbrug i størrelsesordenen 360 kWh/m³. Også i denne oprensning var der en effektivitet på mere end 99 % overfor TCE, TCA og PCE som var de vigtigste stoffer i oprensningen.



Figur 4.1 Layout af varmelegemer fra oprensning af PAH og dioxin, Alhambra, Californien. (www.terratherm.com)

Der er ikke i de amerikanske projekter rapporteret problemer med ændringer i jordens geotekniske egenskaber.

5 Dimensionering af anlæg

5.1 Energianlæg

Dimensioneringen af selve opvarmningen af jorden tog udgangspunkt i et ønske om at opnå minimum 100 °C inden for behandlingszonen. Området blev defineret på baggrund af de udførte undersøgelser. Totalt set udgjorde arealet hvor hot-spot af forureningen befandt sig ca. 75 m² og den kraftigste forurening gik fra terræn og ned til ca. 10 m under terræn.

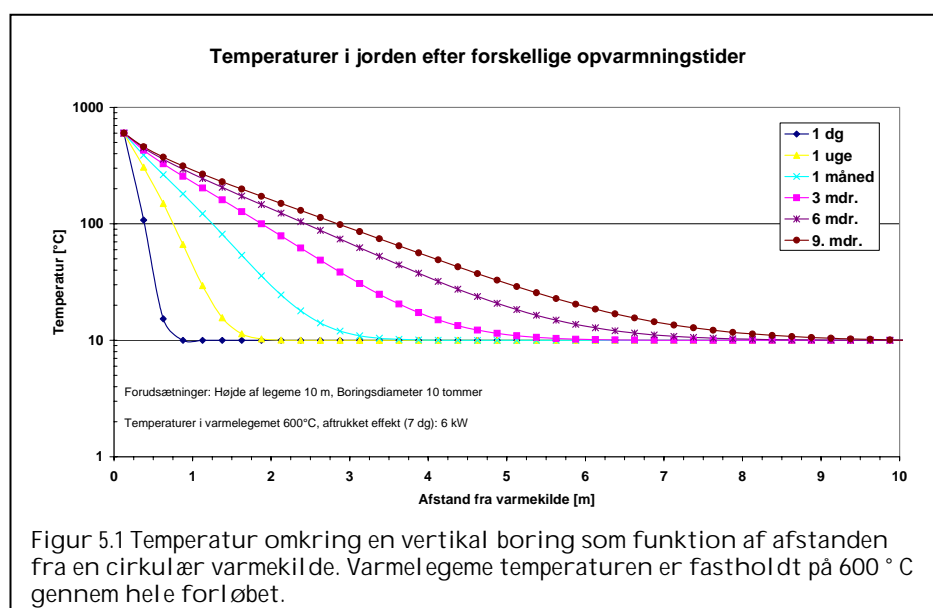
Baseret på data fra Larsen 2000 kræver 750 m³ jord en energitilførsel i størrelsen 60.000 kWh for at opnå en temperatur på 100 °C. Imidlertid er dette et minimum baseret på, at energikilden giver samme temperatur overalt, eksempelvis som ved dampinjektion. Ved varmeledning fra borerer er den drivende kraft til at få energien ud netop temperaturforskellen, således skal temperaturen på varmelegemerne være betydeligt over 100 °C for at drive tilstrækkeligt med energi ud i jorden, alternativt skal varmelegemerne placeres meget tæt på hinanden. I det omfang vandet fordampes skal der også bruges energi til fordampningsvarmen for vand. Hvis alt vand skal fordampes svarer dette til et energiforbrug på ca. 165.000 kWh, hvis der regnes med en vandmættet porøsitet på 0,35 m³/m³ for hele volumenet. Den samlede energi til opvarmning og fordampning svarer derfor til ca. 225.000 kWh totalt, såfremt alt vand skal fordampes, eller ca. 300 kWh/m³. Praksis fra andre oprensninger (kilde) i USA viser at alt vand typisk ikke fjernes, der fjernes normalt ca. 50 % af vandindholdet ved opvarmningen. Herudover er der et energitab til omgivelserne, dels via overfladen til atmosfæren og dels via tab til jorden udenfor oprensningsområdet.

Til dimensionering af afstand og temperaturer blev der udført beregninger baseret på formel 3 i afsnit 3.1. Der blev opstillet en model i regneark til løsning af ligningen. Som beskrevet i afsnit 3.1 varierer både varmekapaciteten og varmeledningsevnen af jorden som funktion af temperaturen. I beregningerne udført med henblik på at finde antallet af borerer og den effektive påvirkningszone er der gjort to tilnærmelser:

1. Varmekapaciteten og varmeledningsevnen er holdt konstant i temperaturen op til 100 °C, hvorefter de to parametre er holdt konstant på en ny værdi for temperaturer over 100 °C. Tilnærmelsen svarer fysisk til, at varmeledningsevnen falder momentant når temperaturen når kogepunktet, i stedet for at falde jævnt hen over temperaturintervallet op til kogepunktet.
2. Fordampningsvarmen for vandet er indregnet i varmekapaciteten i beregningerne. Varmekapaciteten anvendt for den våde, kolde jord er derfor 6.800 J/Kg K og for den varme jord 800 J/kg K. Fysisk er der derfor ikke holdt regning på vandindholdet i jorden som funktion af temperaturen, hvilket jf. afsnit 3.1 i praksis påvirker varmekapaciteten så den bliver lavere og lavere som vandet i jorden fordampes.

I figur 5.1 er vist et eksempel på en beregning af temperaturen i jorden til forskellige tidspunkter med en temperatur på 600 °C på varmelegemet.

Tilsvarende beregninger blev udført ved varmelegemetemperaturer i intervallet 300-800 °C.



Baseret på de udførte beregninger blev det besluttet at anvende en maksimal temperatur på 600 °C på varmelegemerne. Dette blev på baggrund af beregningerne vist i figur 5.1 vurderet at give en tilstrækkelig stor afstand mellem varmelegemerne samtidig med at oprensingsperioden blev vurderet rimelig, i dette tilfælde estimeret til ca. 4 mdr. Effekten der skulle afsættes pr. varmelegeme blev under disse forudsætninger beregnet til 50 kW pr. boring eller 5 kW/meter af varmelegemet. Set-uppet svarede til en afstand på 5 meter mellem varmelegemerne, se bilag 2 for plan med boringer.

Det blev fra starten af arbejdet valgt at indkøbe varmelegemerne som en bygherreleverance. Indledningsvis blev markedet undersøgt for leverandører, der kunne levere varmelegemer, der kunne operere ved den rigtige temperatur og samtidig tale vand og i fuld længde, dvs. 20 meter. Varmelegemerne skulle udføres som en samlet konstruktion bestående af både filterrør og varmelegeme i en integreret enhed. Disse forudsætninger gjorde, at det var et meget begrænset antal af leverandører at vælge imellem.

Konstruktionen blev diskuteret med et par leverandører og det endte med en konstruktion af selve varmelegemet og filterrør som vist i bilag 3.

Konstruktionen består af et inderør, der ved 600 °C skulle kunne holde til jordtrykket i 10 meters dybde. Dimensionen blev vurderet dels ud fra styrketabeller af stål som funktion af temperaturen, og dels ud fra at rørene skulle kunne bearbejdes maskinelt. Røret blev slidset med et hulareal på 10 %, jævnt fordelt over længden for at give maksimal mulighed for tilstrømning af dannede dampe. For at forhindre materialeflugt ind i filteret blev der på ydersiden af røret monteret filtertæppe. Uden på røret er selve varmelegemerne fastgjort. Der blev i alt monteret 9 varmeelementer (samt 3 reserver), hver lagt som et U formet element i et stykke for at forhindre eventuel vandindtrængning. Da strømforsyningen er tre-faset er antallet af elementer

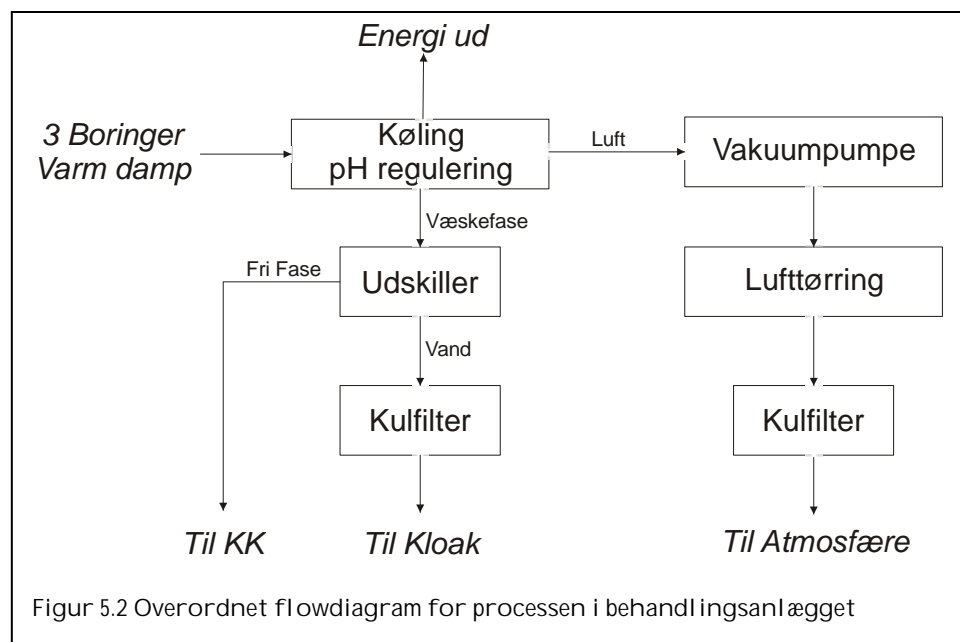
deleligt med tre for at få en jævn belastning af el-nettet. Strømforsyningen og styringen af varmeelementerne var ligeledes en integreret del af leverancen. Styringen skulle kunne reguleres således, at temperaturen på varmelegemet kunne fastholdes på et givet setpunkt i intervallet 100-600° C. Det variable setpunkt blev valgt så forskellige energimængder kunne "injiceres" såfremt det det viste sig at det nødvendigt.

Den samlede energitilførsel der samtidig kunne leveres blev dimensioneret til i alt 150 kW.

5.2 Behandlingsanlæg

Selve anlægget blev dimensioneret med en rækkefølge af komponenter som angivet i figur 5.2, se i øvrigt bilag 4 for PI-diagram. Det ses, at anlægget i princippet består af en række boringer hvorfra strømmen ledes via:

1. En varmeveksler, hvor væske og gas separeres samtidig med at faserne køles.
2. Vanddelen ledes via en udskiller og herefter et kulfilter til kloak. Der pumpes vand rundt med eksterne pumper.
3. Gasdelen ledes igennem en vakuumpumpe igennem en køleflade/lufttørring forud for rensning i kulfilter og udledning til atmosfæren.



Figur 5.2 Overordnet flowdiagram for processen i behandlingsanlægget

Dimensioneringen af behandlingsanlægget tog sit udgangspunkt i behandling af den damp og energimængde der kan dannes ved at tilføre jorden 150 kW.

Det blev i forbindelse med modelberegningerne af varmeudbredelsen beregnet, at der ved den angivne energiinjektion kunne fordampes ca. 200 l vand pr. time. I forhold til dimensioneringen skulle denne dampmængde, opvarmet til maksimalt 600 °C, kunne behandles i anlægget. Samtidig skulle der kunne etableres et vakuum der sikrede, at alt den dannede vanddamp samt den fordampede PCE blev indsamlet. Der blev derfor dimensioneret for et luftoverskud i den opsugede blanding.

Permeabiliteten i jorden var kun dårligt kendt, ligesom effekten af udtørringen heller ikke på det foreliggende grundlag kunne forudsiges. Der blev på denne

ret spinkle baggrund valgt en robust løsning med en vakuumpumpe, der kunne pumpe en mængde på 250 m³/h, ved et vakuum ned til 0,5 bar.

Boringerne og rørføringerne er dimensioneret ud fra det forventede luft- og dampflow, således at der kun var minimale strømningstryktab igennem rør og boring. Røret skulle samtidig tjene som støtte for varmelegemerne. På denne baggrund blev det besluttet at anvende 4 " stålør som selve filteret, ligesom rørføringen til og i behandlingsanlægget på gassiden også blev udført i 4" rustfri stålør.

Frem til kølingen i varmeveksleren var der i det oprindelige design regnet med at gasblandingen kunne have temperaturer helt op til 600 °C. Der blev derfor i detailprojektet beskrevet særligt store krav til korrosionsbestandighed og styrke som følge af dette.

I dimensioneringen var det forudsat, at den opsugede vanddamp havde et lavt pH (ned til pH=1-2). Der var derfor et krav om at det kondenserede vand kunne neutraliseres ved tilsætning af natrium- eller kaliumhydroxid inden videre behandling af vandet.

Behandlingsdelen til vandet i anlægget blev udlagt for et vandflow på op til 200 l/time. Det efterfølgende kulfilter, skulle som minimum indeholde 75 kg kul til fjernelse af den opløste PCE.

På luftsiden skulle der indsættes en lufttørringsenhed, der består af dels en køleflade og dels en varmeplade i serie. Ved først at sænke temperaturen ca 10 °C under dugpunktet ved driftstemperaturen og derefter hæve temperaturen ca. 5 °C opnås en relativt stor ændring i den relative luftfugtighed. Luften skulle inden udledning til atmosfæren ledes igennem 2 serieforbundne kulfiltre med hver 75 kg kul.

For både vand og luft kulfiltrene blev driftstemperaturen udlagt til 45 °C.

6 Erfaringer fra installationen

6.1 Installation af varmelegemer

Det særlige ved denne type oprensning var installationen af selve varmelegemerne idet disse kom færdigleverede i et stykke, dvs. i en længde på 10 m.

Installationen blev udført ved, at der først blev etableret en foret 10" boring med snegl til den ønskede dybde, ca. 11 m under terræn. Der blev fyldt ca. 1 m filtersand i bunden. Varmelegemet var udført med to løfte øjer på toppen af legemet således, at konstruktionen kunne løftes i et stykke. Ved hjælp af en kran med 15 meters løftehøjde, blev selve varmelegemet løftet til lodret position fra de transportkasser som den engelske leverandør havde fremsendt dem i. Varmelegemerne blev herefter nedsænket i forerørene og centreret i disse ved hjælp af styr, der var påmonteret varmelegemerne. Som ved en traditionel boring, blev der efterfølgende sandfyldt omkring varmelegemet. Der blev under hele processen ført journal over mængde af anvendte materialer for at dokumentere at der var tilstrækkelige mængder af sand omkring varmelegemet.

Erfaringerne fra selve installationen viser, at det både var muligt og relativt enkelt at installere selv så store emner i en boring uden at beskadige selve varmelementerne. Efter selve den fysiske installation af varmelegemet blev samtlige varmelementer kontrolleret ved at teste modstanden i de enkelte varmelementer og ved at kontrollere for elektrisk gennemgang fra elementerne til jord.

6.2 Anlæg

I forhold til andre in-situ anlæg adskilte dette sig primært ved at kravet til strømforsyningen var større end generelt. Dette krævede at der blev trukket ekstra kabel fra den nærmeste transformator, der lå ca. 500 m fra anlægget.

Udover forholdet omkring strømforsyningen var der specielle krav til køling (meget varm indgangstemperatur) og pH-regulering, der normalt ikke indgår i "traditionelle" in-situ anlæg. Installationen af selve behandlingsanlægget forløb stort set som for et hvilket som helst andet in-situ anlæg, dvs. uden særlige problemer. Tæthed af forskellige installationer blev testet og der blev udført tætning af et par af komponenterne

7 Drift og resultater

Som det fremgår af sammenfatningen kørte det opstillede anlæg kun i ca. 24 timer inden det lukket ned pga. af overbrændte varmeelementer. Resultatafsnittet er på baggrund af dette delt i to, dels en del der beskriver de indsamlede data i løbet af driftsperioden og dels en del der beskriver de resultater, der er indhentet i forbindelse med evalueringen af skaderne. I forbindelse med evaluering af potentielle skader som følge af en geoteknisk påvirkning af leren blev der udført udtørningsforsøg af GEO. Hovedresultaterne fra disse forsøg er beskrevet i afsnit 7.3.

7.1 Drift

Efter at anlægget var blevet opstillet og de enkelte dele i anlægget afprøvet uden at starte opvarmningen, blev varmelegemerne testet individuelt for at sikre, at den elektriske installation var udført korrekt og det var muligt at justere energitilførselen som angivet i udbudsmaterialet.

Der blev udarbejdet en procedure for opstarten af anlægget, hvor der skulle startes med 100°C i en kortere periode for herefter trinvist at hæve temperaturen på varmelegemerne.

Forud for opstarten blev temperaturen i observationsboringerne logget for at bestemme initialbetingelserne, ligesom der blev udført en runde poreluftmålinger på de etablerede poreluftspidser monteret ved siden af temperaturmoniteringsboringerne.

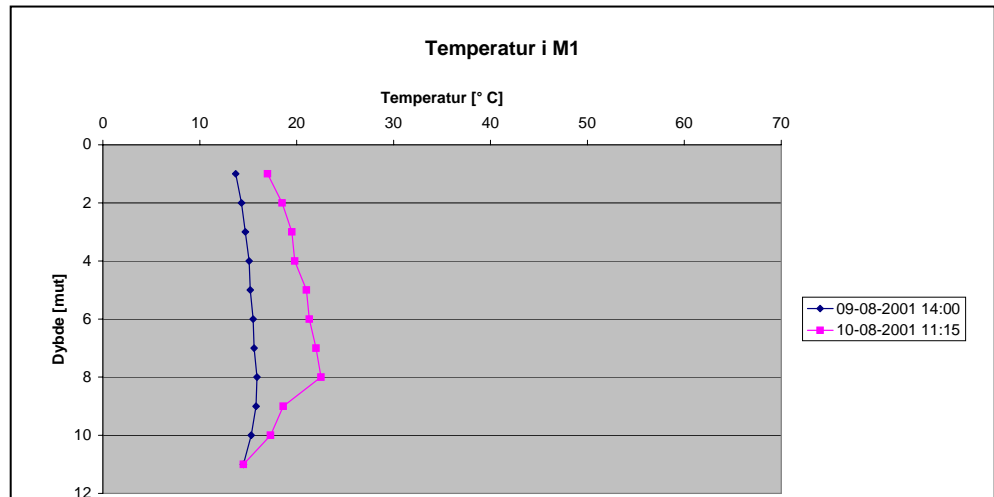
Sammen med entreprenøren (Vand-Schmidt AS) blev varmelegemerne opstartet den 09-08-01 om formiddagen. Varmelegemerne blev koblet ind et efter et med ca. 1 time mellem hver for dels at opnå en jævn belastning af elnettet og dels at få mulighed for at følge med i opvarmningens forløb. Setpunktet for temperaturen på varmelegemerne blev initielt sat til 200 °C, således at vandet i boringerne kunne fordampes og fjernes inden temperaturen skulle stige til det dimensionerede setpunkt på 600 °C.

I løbet af dagen blev setpunktet gradvis hævet for at blive indstillet til 500 °C hvor anlægget blev efterladt kl. 22.00.

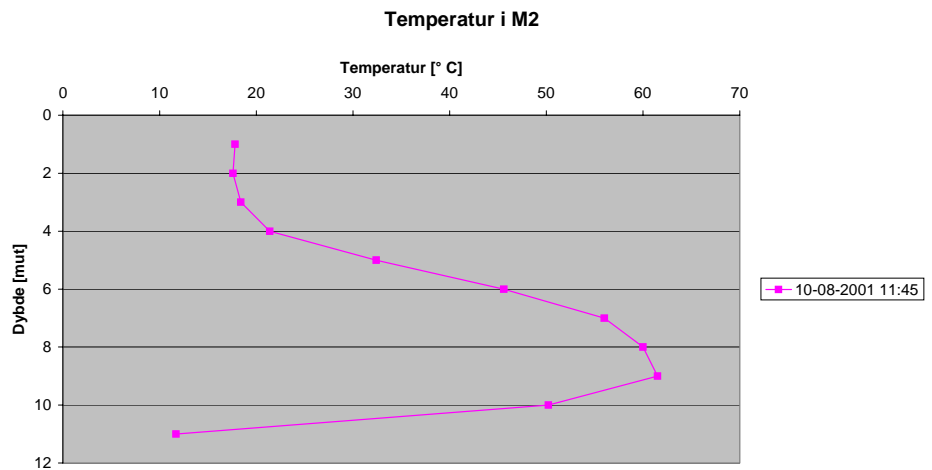
Data fra temperaturfølere, trykfølere, pH følere i det opsugede blev opsamlet igennem forløbet. Herudover blev den elektriske effekt målt. I tabel 7.1 er vist de udlæste temperaturer fra varmelegemernes temperaturstyring igennem det første døgn.

Tabel 7.1. Observerede temperaturer (°C) fra kontrolpanelet den 10. August

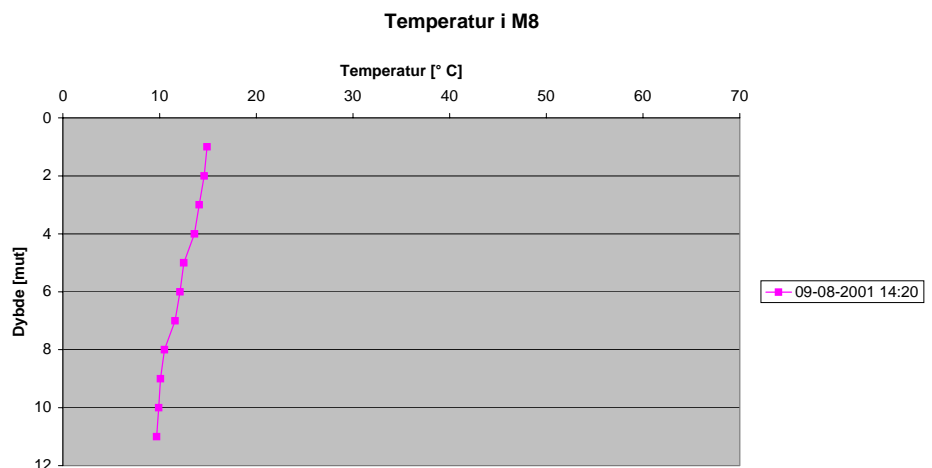
Element No. /Tid	Heater 1	Heater 2	Heater 3
11:40	401	267	134
12:45	408	258	132
14:15	423	266	131
15:20	362	227	113
16:00	329	212	107



Figur 7.1 Temperatur profil i M1



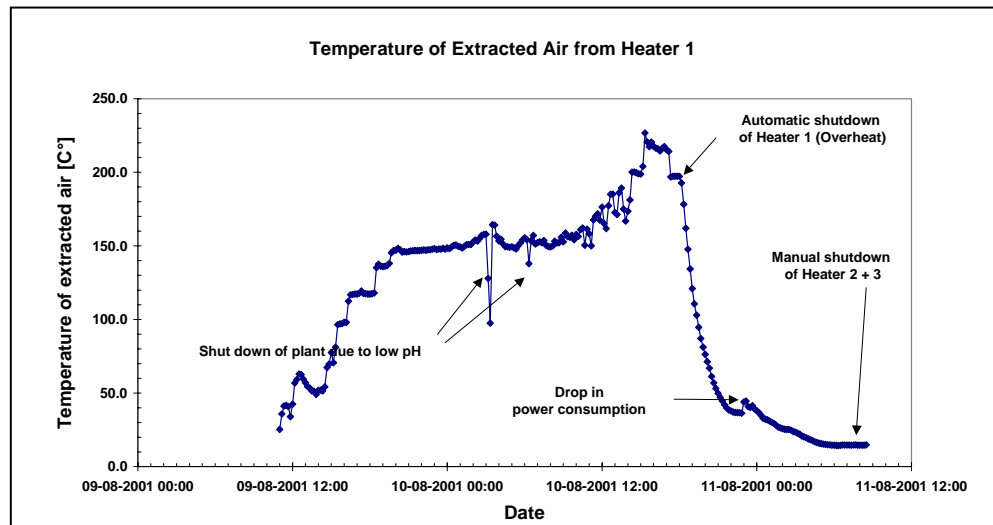
Figur 7.2 Temperatur profil i M2



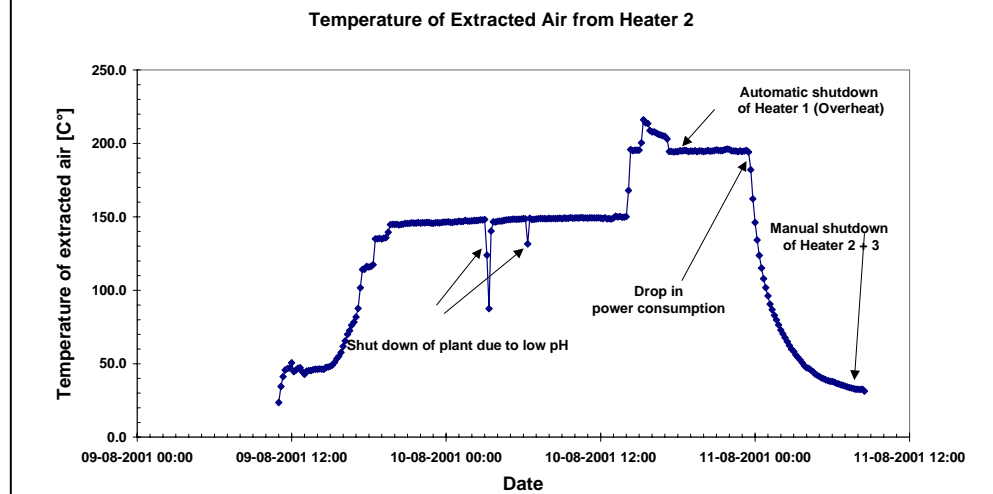
Figur 7.3 Temperatur profil i M3

Forskellen i overfladetemperaturen på varmelegemerne skyldes sandsynligvis forskelle i tilstrømningen af vand fra leren samt forskellig tilstrømning af luft til varmelegemerne.

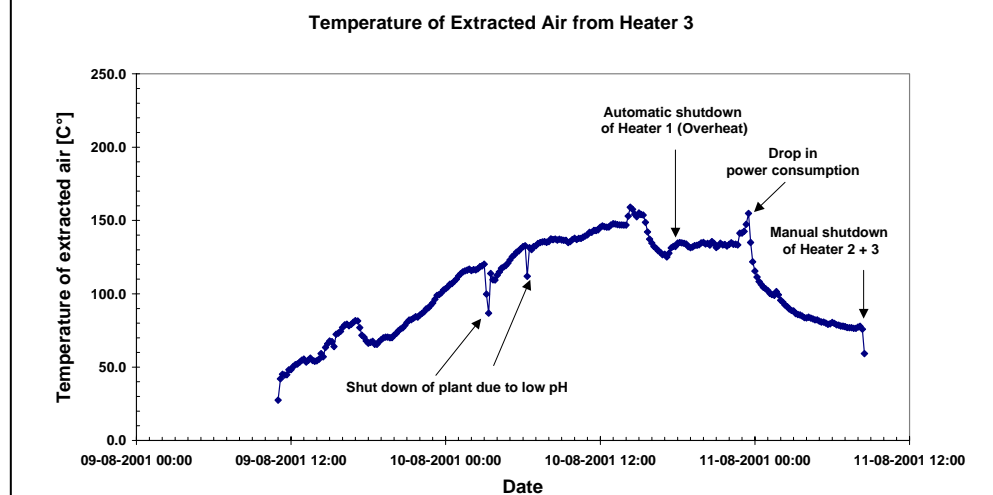
I løbet af dagen blev der checket for temperaturstigninger i de nærmeste



Figur 7.4 Temperatur i opsugt Luft fra varmelegeme 1



Figur 7.5 Temperatur i opsugt Luft fra varmelegeme 2



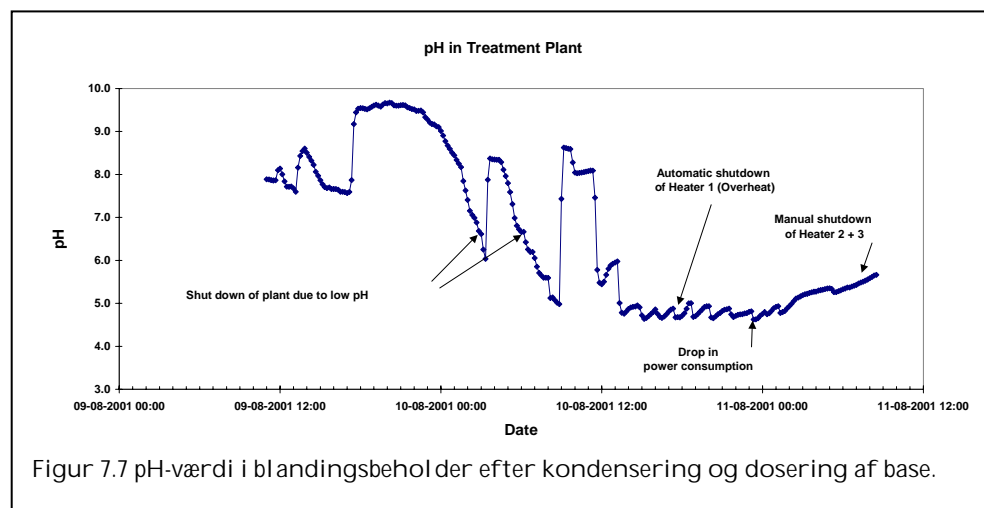
Figur 7.6 Temperatur i opsugt Luft fra varmelegeme 3

moniteringsboringer. I figur 7.1-7.3 er vist temperaturen i hhv. M1, M2 og

M3, se bilag 2 for placering. Der ses allerede efter kort tid at temperaturen i jorden begynder at stige, særligt i M2, hvor temperaturen efter et døgn drift er oppe på 60 °C i den nederste del af profilet. At temperaturen ikke stiger med samme hast i toppen af profilet til skrives strømning af luft i den øverste del.

Temperaturen og pH blev registreret i den opsugede damp, pH efter at dampen var kondenseret. I figur 7.4-7.6 er temperaturen i det den opsugede damp vist som funktion af tiden. Som det ses af figurerne er der en ret stor forskel i temperaturen i det opsugede medie. Dette skyldes sandsynligvis primært forskellige andele af "frisk" luft i forhold til de fordampede vandmængder. På figurerne er de forskellige hændelser i løbet af opstarten markeret med pile.

Efter at anlægget blev forladt omkring fredag kl. 22.00 var al drift stillet i automatik. I forbindelse med at anlægget blev checket via on-line forbindelse lørdag morgen, blev det konstateret at der var fejl på mindst et sæt af varmelementerne. Anlægget blev umiddelbart efter inspiceret og vi kunne her konstatere at adskillige af varmelementerne var beskadigede. Anlægget blev derpå stoppet og kom aldrig i gang igen.



I forbindelse med det første driftsdøgn blev der også målt pH i den kondenserede damp, der blev opsuget fra borerne. Målingerne blev udført i kammeret hvor der kunne doseres base og repræsenterer derfor ikke den sande pH værdi i dampen, men den værdi som kondensatet opnåede efter dosering af base. I figur 7.7 er vist pH data. Det ses, at pH falder hastigt fra basisk/neutral til surt miljø i løbet af den første umiddelbare opvarmning. Årsagen til at kondensatet blev målt til at være basisk var, at der i beholderen hvor pH-elektroden sad blev doseret base som et led i testen. I løbet af den første driftsdag blev anlægget stoppet to gange på grund af lav pH. Dette skyldtes, at doseringen af base til kondensatet på dette tidspunkt endnu ikke var korrekt indstillet. Der blev i løbet af perioden reguleret både på mængden af base der blev tilsat, ligesom set-punktet for acceptabel pH blev justeret. På baggrund af de målte værdier kan det konkluderes, at der allerede i starten af driften blev produceret syre.

På figur 7.4-7.7 er det angivet at Varmelegeme 1 lukkede ned automatisk om aftenen på grund af overbelastning. En analyse af strømforbruget foretaget om morgenen dagen efter gjorde, at anlæggets to øvrige varmelegemer blev

afbrudt, mens vakuum blev bibeholdt på borerne i afkølingsperioden. Som det ses af figur 7.1 blev den opsugede lufts temperatur ret hurtigt afkølet til omgivelsestemperatur.

7.2 Efter driften

Efter at driften blev afsluttet blev anlægget tilset. I figur 7.8 er vist et billede af toppen af et af varmelegemerne. Det ses tydeligt at selve elementet er blevet



Figur 7.8 Billede af toppen af varmelegemet efter 24 timers drift. De enkelte varmelementers afslutning til kabel ses i billedet. Centralt ses overbrændte kabler.

beskadiget af høj temperatur. På baggrund af dette blev der tilkaldt en tekniker fra leverandøren der besigtigede skaderne og udførte målinger på selve elementerne. Det kunne konstateres, at der var elektrisk gennemgang til jord på en del af elementerne, ligesom det kunne konstateres, at der var elementer der ikke længere havde forbindelse igennem.

Det blev besluttet at tage de 3 varmelegemer op. I figur 7.9 og 7.10 er vist billeder af de optagne legemer. Det ses af figur 7.10, at der har været dannet lysbuer omkring selve elementerne, der flere steder er brændt væk over længere strækninger. Selve filterrøret har været så varmt at stålets styrke er blevet kraftigt reduceret, hvorved jordtrykket har været i stand til at trykke røret sammen. Det blev med det samme vurderet, at det ikke var muligt at renovere de optrukne legemer.

Bygherren besluttede efterfølgende at udføre afværgen ved delvis at nedrive de eksisterende bygninger og herefter opbore den mest forurened jord. Der blev tilfyldt kaliumpermanganat i udgravningen for at reducere restforureningen.



Figur 7.9. Det optagne Varmelegeme 1 i fuld udstrækning. Bunden nærmest kameraet. Det ses tydeligt, at røret indeni er kollapset umiddelbart over bunden som følge af opvarmningen.

Der kører en syns- og skønsag om ansvarsfordelingen på omkostningerne til varmelegemerne. Baseret på skønsmandens konklusioner har de vigtigste årsager til sammenbruddet af legemerne været:

- Et manglende FI relæ i installation af varmelegemerne. Et installeret relæ ville have forhindret den totale ødelæggelse, men ikke et stop for driften.
- At de anvendte materialer til varmelegemerne ikke var egnede til det miljø der var tilstede i jorden, herunder angiver skønsmanden at de anvendte materialer ikke bør anvendes ved temperaturer højere end 500 °C.



Figur 7.10 Nærbillede af sammenbrudsstedet. De overbrændte varmeelementer ses på billedet, samt det fkol lapsede inderrør og forkullede væv.

- At varmelegemerne pga. af indstøbning omkring toppen med beton ikke i tilstrækkeligt omfang frit har kunne udvide sig, hvilket kan være en medvirkende årsag til skadesbilledet.

7.3 Geotekniske forsøg

I forbindelse med projektet har GEO udført dels nogle geotekniske styrkeforsøg på lokaliteten og dels nogle laboratorieforsøg med kerner fra lokaliteten med henblik på at vurdere de geotekniske effekter af opvarmningen af jorden. Der er udført almindelig karakterisering af jorden, dvs. aflejringstype og miljø, vandindhold, kornkurver, kalkindhold og vingestyrke. Dette er udført på en boring ned til 18 m u.t. I forbindelse med borearbejdet er der udtaget kerner til opvarmning, hvorpå der er målt dels varmetekniske parametre (ledningsevne og varmekapacitet) og dels registrering af jordens volumenændring som funktion af temperaturen. Herudover er der udført egentlige konsolideringsforsøg med både uopvarmede og opvarmede prøver.

De overordnede resultater viser, at jordbundsforholdene overordnet er som mange andre steder i Nordsjælland med moderate vingestyrker (100-150 N/m²) i de øverste jordlag tiltagende med dybden og højt vandindhold i de lerede aflejringer. Lerindholdet i jorden vokser med dybden til 20-25 %. Jorden er kun svagt forkonsolideret med spændinger på 200-300 kPa.

Opvarmningen giver ved temperaturer over 100 °C relativt store volumenændringer på op til 2-3 %. Der er en del usikkerhed om resultatet, men GEO forventer at en stor del af svindet ved genopfugtning af jorden vil være blivende. En ændring på 2 % svarer til en vertikal sætning på 20 cm på en 10 meter høj søjle og en horisontal ændring af samme størrelsesorden, såfremt der regnes med en cirkulær opvarmning med en diameter på 10 m. På denne baggrund udelukker GEO ikke, at der kan ske større sætningsskader på bygningerne i forbindelse med opvarmningen.

Som opfølgning på arbejdet blev det planlagt at måle på eventuelle sætninger som følge af opvarmningen. Dette blev dog på grund af den korte opvarmningsperiode ikke aktuelt.

For en mere detaljeret gennemgang af rapporten henvises til Porsvig (2003).

8 Økonomi

I tabel 8.1 er en oversigt over de vigtigste poster i sagsøkonomien vist.

Tabel 8.1. Oversigt over hovedposter i projektet

Hovedaktivitet	Ydelse	Rådgiver	Entreprenør
Dimensionering	Projektredegørelse og projektering	270.000*	
Etablering	Anlæg	375.000*	2.900.000*
Indkøring og drift:	Varmelegemer		635.000*
	El 40 ugers drift (ca. 0,35 øre pr. kW)	390.000**	1.470.000**
	Service		310.000**
Afledte omkostninger	Andre forbrugsstoffer		155.000**
	Retablering af arealer efter nedkøling		100.000**
	Retablering af bygninger	?	?
Total		1.035.000	4.570.000

* Realiserede beløb

** Estimerede beløb

Som følge af at oprensningen ikke blev fuldført ved metoden er der en del af økonomien, der er estimeret ud fra entreprenør- og rådgivertilbud. Som det ses af tabel 8.1 udgør el en relativt stor andel af de samlede forventede omkostninger. Retablering af bygninger er ikke prissat. Jf. undersøgelserne udført af GEO er der potentiel risiko for sætningsskader, hvis leren udtørres totalt. Erfaringer fra USA indikerer, at dette ikke sker i praksis, hvorfor det må forventes at eventuelle skader vil være af kosmetisk karakter, og derved samtidig have en beskedent økonomi i forhold til udbedring.

Den samlede projektøkonomi er estimeret til ca. 5,5 mill. kr. totalt. Med et volumen i oprensningszonen på ca. 750 m³ svarende til ca. 1500 ton vådvægt giver dette en enhedsbehandlingspris i størrelsen 3.600 kr/ton, hvilket sammenlignet med andre metoder er ganske højt. Heron (2005) angiver forskellige kost estimater for amerikanske oprensninger med de termiske metoder. For mindre oprensninger (jordmængder < 10.000 yard³ ≈ 7.500 m³) er de typiske omkostninger i størrelsesordenen 5-700 \$/yard³ svarende til ca. 2.000-3.000 kr./ton. Forskellen skyldes bl.a. billigere udstyr og energi i USA. Herudover er hele anlægsomkostningen på Alsønderup afskrevet over én oprensning, hvilket ikke gælder i de amerikanske tilfælde.

9 Konklusioner

På baggrund af afprøvningen af metoden termisk assisteret vakuumventilation med opvarmning ved hjælp af varmelegemer og varmeledning kan følgende hovedkonklusioner drages:

- Der er store udfordringer i design af selve varmelegemerne, både med hensyn til materialevalg og opbygning. I denne afprøvning var sammenbrud af varmelegemerne pga. korrosion årsagen til, at driften måtte afsluttes uden en egentlig oprensning, metoden er således stadig ikke dokumenteret under danske forhold.
- Metoden er relativt dyr og energikrævende. For flygtige stoffer er det beregnet ved dimensioneringen at der skal anvendes ca. 300 kWh/m³. I amerikanske oprensninger er der ved samme typer stoffer i et dokumenteret tilfælde brugt ca. 360 kWh/m³. Enhedsomkostningerne er stærkt afhængige af størrelsen på oprensningen. Amerikanske data på små oprensninger (lidt større end Alsønderup) ligger i intervallet 2.000-3.000 kr./ton jord. De samlede omkostninger i Alsønderup projektet giver en enhedspris på ca. 3.600 kr./ton jord. Forskellen skyldes primært forskelle på priserne på energi og maskindele, samt at hele anlægget til Alsønderup afskrives på denne sag alene.
- Metoden er dokumenteret meget effektiv både overfor de flygtige forureninger som TCE, PCE, TCA etc., men også for mindre flygtige komponenter som PAH, pentachlorphenol, gasolier mv. I amerikanske oprensninger, hvoraf der pt. er udført 17, er oprensningseffektiviteten i de fleste tilfælde større end 99 %.
- I forhold til teknikkens anvendelse vurderes der, udover prisen, at der er udfordringer i to retninger. Dels er der en række patenter der beskytter metoden og således reducerer konkurrencen, dels er der muligvis mulige geotekniske problemer, specielt ved udtørring af jorden. De geotekniske implikationer er ikke dokumenteret i det tilgængelige materiale fra de amerikanske oprensninger, men laboratorieforsøg udført af GEO i forbindelse med evalueringen af metoden indikerer mulige volumenreduktioner på op til 2-3 %. Det er dog usikkert om ændringerne under feltforhold er de samme.
- Samlet set vurderer Hedeselskabet stadig metoden kan være attraktiv, specielt ved dybere forurening. For at opnå en større sikkerhed for succes anbefales det at anvende de amerikanske varmelegemer ved en senere afprøvning, eventuelt ombygget til europæisk strømforsyning.

10 Referencer

Carl Bro as (1999): Reseriet RASCO, Ravnsbjergvej 8, Alsønderup, Videregående undersøgelser. Udarbejdet for Frederiksborg Amt.

DeVries D.A. (1963): Thermal Properties of Soil. Pp. 210-235 I W.R. van Wijk (ed.) Physics of Plant Environment. North Holland Publishing Company, Amsterdam, Holland.

Falkenberg (1998a): Registreringsundersøgelse, Renseriet RASCO, Ravnsbjergvej 8, Alsønderup. Udarbejdet for Frederiksborg Amt.

Falkenberg (1998b): Supplerende undersøgelse af forurening med halogenerede kulbrinter i det terrænnære og dybere grundvand, Renseriet RASCO, Ravnsbjergvej 8, Alsønderup. Udarbejdet for Frederiksborg Amt.

Gudbjerg, J. (2003): Remediation by steam injection. Ph.D. Thesis, Environment & Resources, Technical University of Denmark

Hansen. B. (2000): Passiv poreluftscreening med Gore-Sober™ screening survey. Miljøprojekt, 518; Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Miljøstyrelsen.

Hansen, S. (2002) : Daisy, a flexible Soil-Plant-Atmosphere system Model. Kan downloades fra <http://www.dina.kvl.dk/~daisy/ftp/DaisyDescription.pdf>

Heron, G., Heron, T., Larsen, T. H., Christensen, T.H. (1998): Termisk assisterede oprensninger. Miljøprojekt, nr. 409, Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening, Miljøstyrelsen.

Heron G., Carrol, 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. I proceedings fra: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant compounds – The Fourth International Conference, May 24-27, Monterey, California.

Heron, G. (2005) : Materiale udarbejdet i forbindelse med AVJ temadag om termisk oprensninger, 5. januar 2005 i Odense

LaChance, J., Baker, R.S., Galligan, J.P., Bierschenk, J.M: (2004): Application of Thermal Conductive Heating/In-Situ Thermal Desorption (ISTD) To the Remediation of Chlorinated Volatile Organic Compounds in Saturated and Unsaturated Settings. I proceedings fra: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant compounds – The Fourth International Conference, May 24-27, Monterey, California.

Larsen, T. H. (2000): Oprensning af klorerede opløsningsmidler ved dampstripping - Brüel og Kjær grunden. Miljøprojekt, nr. 543, Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening, Miljøstyrelsen.

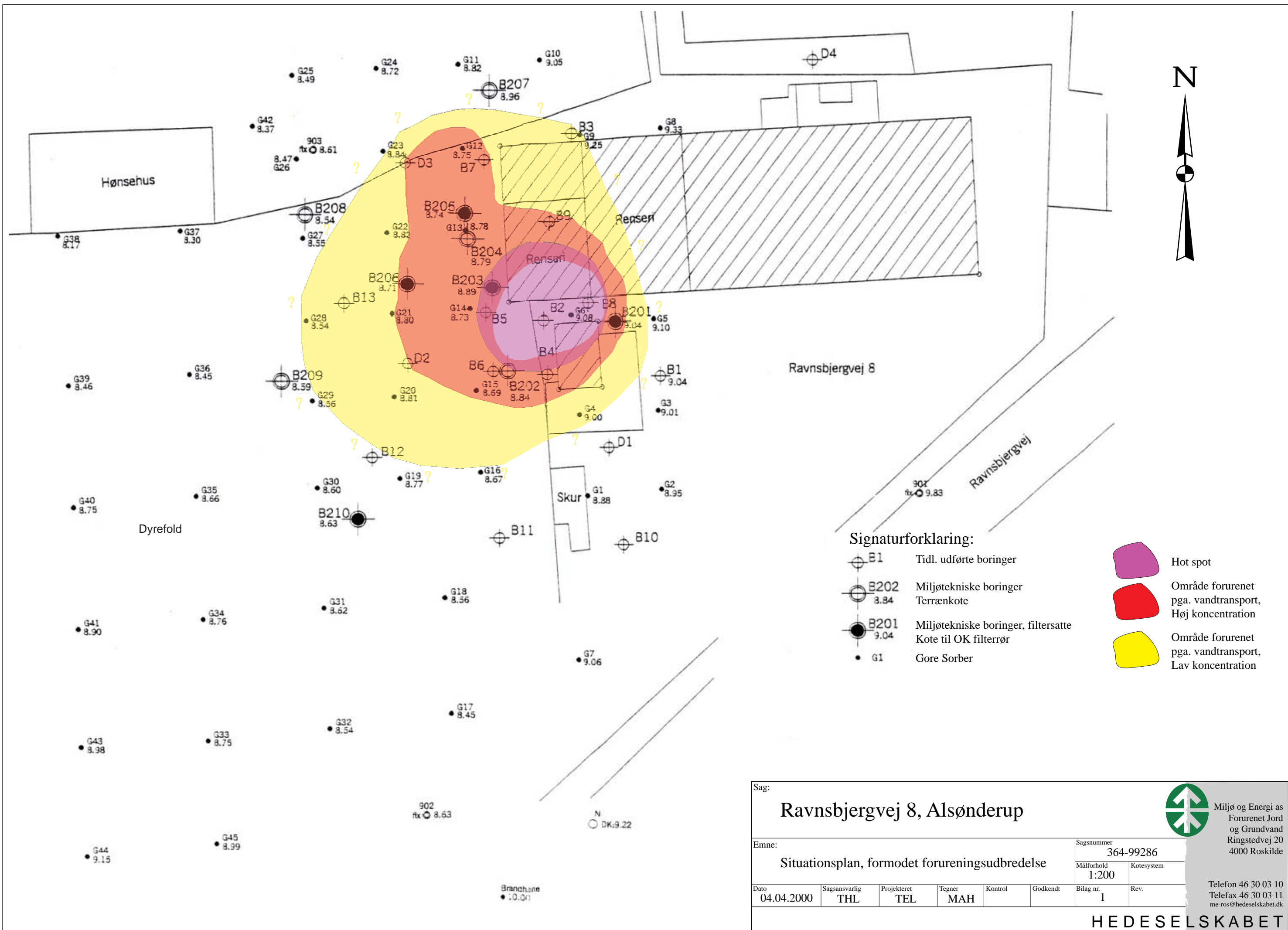
Miljøstyrelsen (1998): Vejledning i oprydning på forurenede lokaliteter.
Miljøstyrelsens vejledning nr. 6 og 7.

Ochsner, E.T., Horton, R., Ren, T. (2001): A New Perspective on Soil Thermal Properties. *Soil. Sci. Am. J.* (65): 1641-1647.

Porsvig, M. (2003): Hillerød. Alsønderup. Opvarmning af jord- Rapport 1.
Udarbejdet af GEO for Frederiksborg Amt/Miljøstyrelsen

Taylor, P.H., Tirey, D.A., Dellinger, B. (1996): A Detailed Kinetic Model of the High-Temperature Pyrolysis of Tetrachloroethene. *Combustion and Flame*, 104 (3), pp. 260-271

Bilag 1

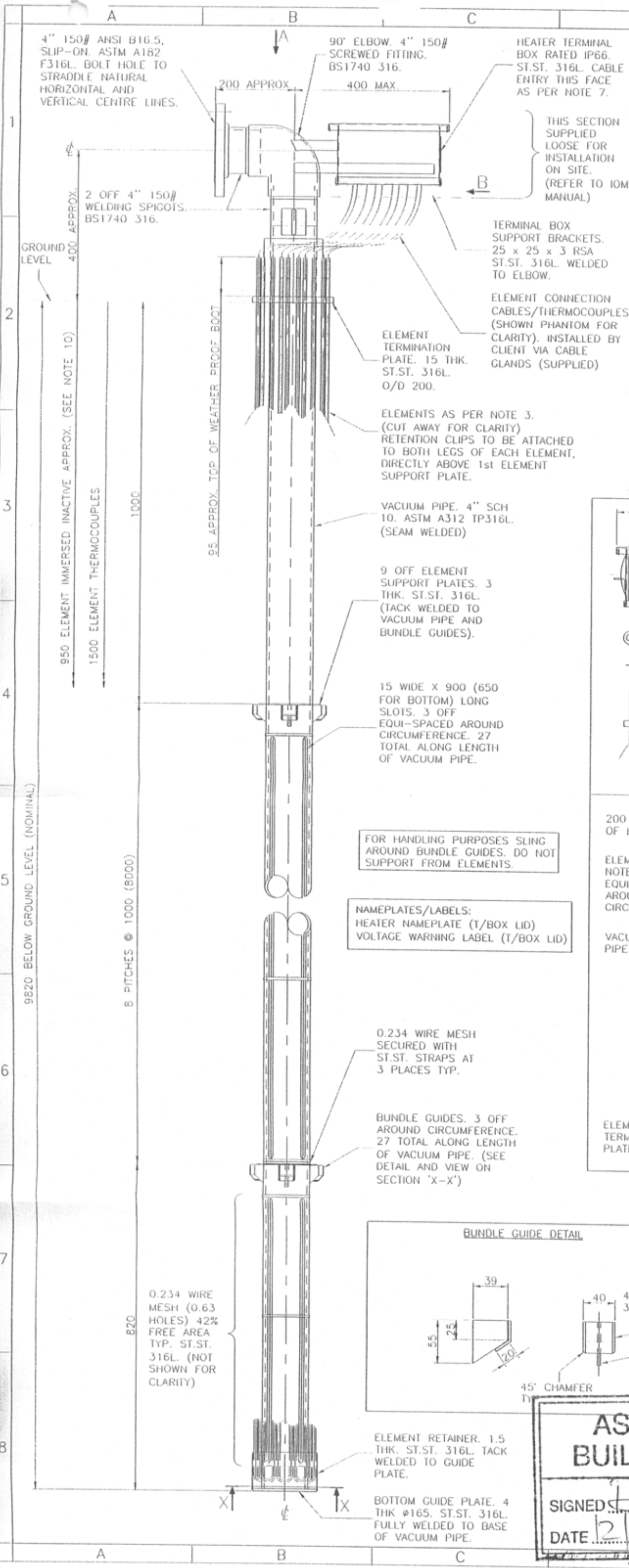




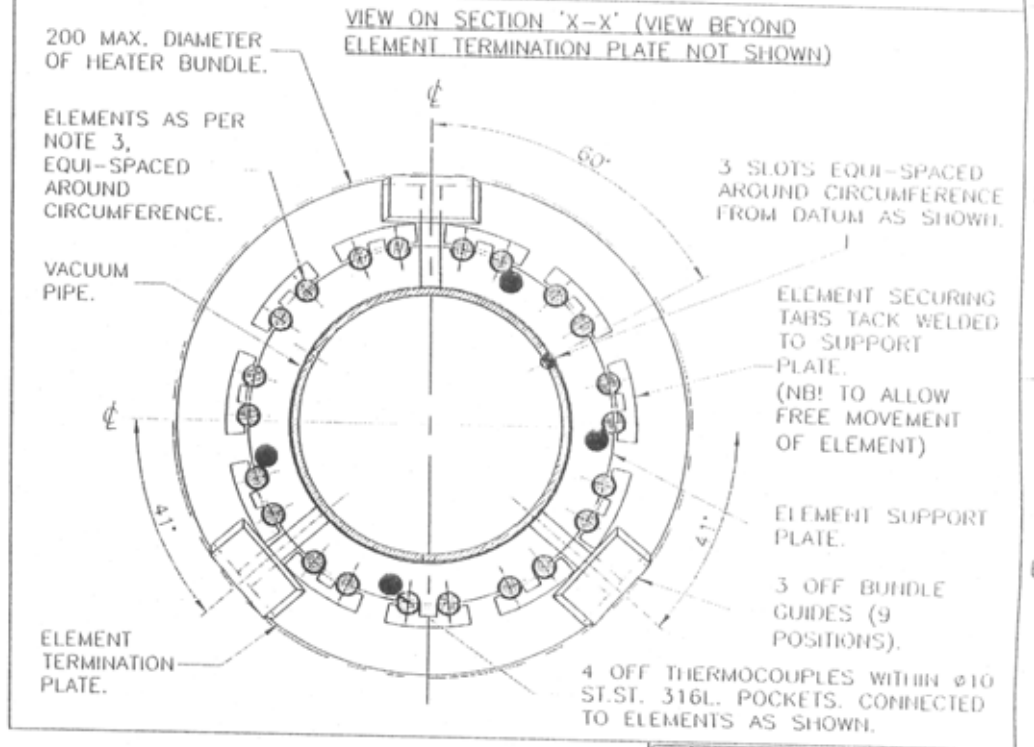
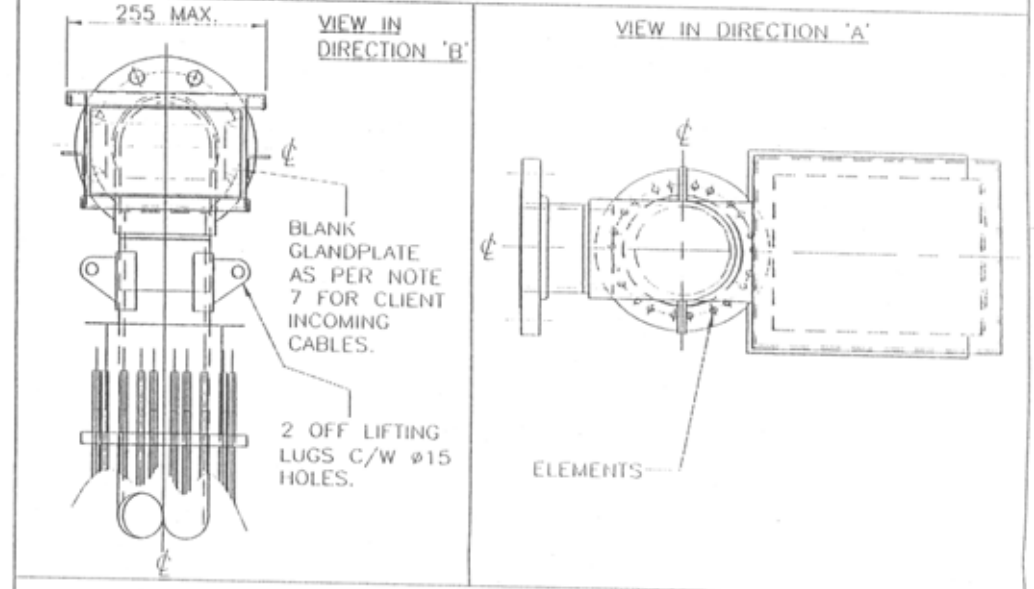
Sag:									
Detailprojekt, Ravnsbjergvej 8, Alsønderup									
Emne:								Sagsnummer	
Placering af boringer								Målforhold	Kotesystem
								1:200	
Dato	Sagsansvarlig	Projekteret	Tegner	Kontrol	Godkendt	Bilag nr.	Rev.		
011000	TEL	THL	THL	OØ	TEL	4			
HEDESELSKABET									



Miljø og Energi as
 Forurennet Jord
 og Grundvand
 Ringstedvej 20
 4000 Roskilde
 Telefon 46 30 03 10
 Telefax 46 30 03 11
 me-ros@hedeselskabet.dk

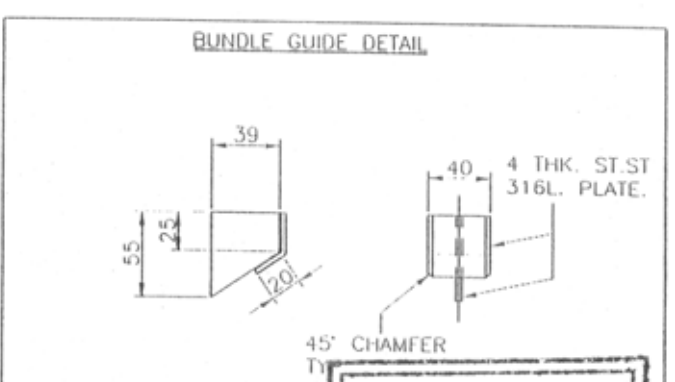


- NOTES:**
- SPECIFICATION:**
50kW, 400V, 3Ph, 3 WIRE DELTA, 50Hz, SINGLE STAGE.
SUITABLE FOR NON-HAZARDOUS INSTALLATION
 - REFERENCE DRAWINGS:**
(i) WIRING DIAGRAM: 11582.01.03
 - ELEMENT DETAILS:**
(i) 9 ACTIVE + 1 CLIENT SPARE + 1 INSTALLED HEATEX MANUFACTURING SPARE.
5555W, 400V. MATERIAL: Ø8.5mm INCOLOY 800.
 - FITTINGS:**
(i) ELEMENTS AND THERMOCOUPLES TERMINATED BY CLIENT INTO TERMINAL BOX VIA CABLE GLANDS (SUPPLIED)
 - FINISH:**
ALL NATURAL STAINLESS STEEL.
 - OVERTEMPERATURE PROTECTION:**
(i) 4 OFF TYPE-K THERMOCOUPLES CONNECTED TO ELEMENTS INDICATED (SEE VIEW ON 'X-X') AS FOLLOWS:-
(2 OFF ELEMENT TEMPERATURE CONTROL - 1 ACTIVE & 1 SPARE)
(2 OFF ELEMENT HIGH TRIP - 1 ACTIVE & 1 SPARE)
(ii) ACH OVER-TEMP CUT OUT (PRE SET AT 30°C)
 - CABLE ENTRIES:**
(i) POWER CABLE ENTRY INTO TERMINAL BOX VIA 1 OFF UNDRILLED GLANDPLATE, (APERTURE SIZE 140 x 60)
GLANDPLATE MATERIAL: ST.ST. 316L.
 - TESTING:**
(i) ELECTRICAL TEST TO WI/09/114
 - FREE AREA:**
FREE AREA OF SLOTTED SECTIONS OF VACUUM PIPE = 5.28%
 - INSTALLATION NOTES:**
CEMENT/ROCKWOOL INSULATION NOT TO FILL BEYOND ELEMENT IMMERSED INACTIVE LENGTH - 950 BELOW GROUND LEVEL.
 - ESTIMATED WEIGHT:**
(i) HEATER BUNDLE: 280 KG
 - ANTI-CONDENSATION HEATER:**
55W, 110V (NON CERTIFIED)



FOR HANDLING PURPOSES SLING AROUND BUNDLE GUIDES. DO NOT SUPPORT FROM ELEMENTS.

NAMEPLATES/LABELS:
HEATER NAMEPLATE (T/BOX LID)
VOLTAGE WARNING LABEL (T/BOX LID)



AS BUILT

SIGNED: [Signature]

DATE: 12/6/01

4			
3			
2	AS BUILT	SC	[Signature]
1	FIRST ISSUE	DHG	MSP SJL
REV	COMMENTS	DRWEN	CHKD APPR

HEATEX LTD
NORFOLK ENGLAND

Certificate No. FM 26078

SCALE: NOT TO SCALE

3rd ANGLE PROJECTION

TOLERANCES UNLESS OTHERWISE STATED

0 1.5mm

0.0 0.5mm

0.00 0.25mm

0.000 0.1mm

ANGULAR : 2'

TITLE 50kW SOIL HEATER GENERAL ARRANGEMENT	
PROJECT DOCUMENT NUMBER	ISSUE
HEATEX DRAWING NUMBER 11582.01.01	2
PATH : G:\11582\115820101.DWG	
FORMAT : AUTOCAD R14	

4" 150# ANSI B16.5, SLIP-ON. ASTM A182 F316L. BOLT HOLE TO STRADDLE NATURAL HORIZONTAL AND VERTICAL CENTRE LINES.

90° ELBOW. 4" 150# SCREWED FITTING. BS1740 316.

HEATER TERMINAL BOX RATED IP66. ST.ST. 316L. CABLE ENTRY THIS FACE AS PER NOTE 7.

THIS SECTION SUPPLIED LOOSE FOR INSTALLATION ON SITE. (REFER TO IOM MANUAL)

TERMINAL BOX SUPPORT BRACKETS. 25 x 25 x 3 RSA ST.ST. 316L. WELDED TO ELBOW.

ELEMENT CONNECTION CABLES/THERMOCOUPLES (SHOWN PHANTOM FOR CLARITY). INSTALLED BY CLIENT VIA CABLE GLANDS (SUPPLIED)

ELEMENT TERMINATION PLATE. 15 THK. ST.ST. 316L. O/D 200.

ELEMENTS AS PER NOTE 3. (CUT AWAY FOR CLARITY) RETENTION CLIPS TO BE ATTACHED TO BOTH LEGS OF EACH ELEMENT, DIRECTLY ABOVE 1st ELEMENT SUPPORT PLATE.

VACUUM PIPE. 4" SCH 10. ASTM A312 TP316L. (SEAM WELDED)

9 OFF ELEMENT SUPPORT PLATES. 3 THK. ST.ST. 316L. (TACK WELDED TO VACUUM PIPE AND BUNDLE GUIDES).

15 WIDE X 900 (650 FOR BOTTOM) LONG SLOTS. 3 OFF EQUI-SPACED AROUND CIRCUMFERENCE. 27 TOTAL ALONG LENGTH OF VACUUM PIPE.

FOR HANDLING PURPOSES SLING AROUND BUNDLE GUIDES. DO NOT SUPPORT FROM ELEMENTS.

NAMEPLATES/LABELS:
HEATER NAMEPLATE (T/BOX LID)
VOLTAGE WARNING LABEL (T/BOX LID)

0.234 WIRE MESH SECURED WITH ST.ST. STRAPS AT 3 PLACES TYP.

BUNDLE GUIDES. 3 OFF AROUND CIRCUMFERENCE. 27 TOTAL ALONG LENGTH OF VACUUM PIPE. (SEE DETAIL AND VIEW ON SECTION 'X-X')

ELEMENT RETAINER. 1.5 THK. ST.ST. 316L. TACK WELDED TO GUIDE PLATE.

BOTTOM GUIDE PLATE. 4 THK Ø165. ST.ST. 316L. FULLY WELDED TO BASE OF VACUUM PIPE.

200 APPROX. 400 MAX.

2 OFF 4" 150# WELDING SPIGOTS. BS1740 316.

GROUND LEVEL 400 APPROX.

950 ELEMENT IMMERSED INACTIVE APPROX. (SEE NOTE 10)

1500 ELEMENT THERMOCOUPLES

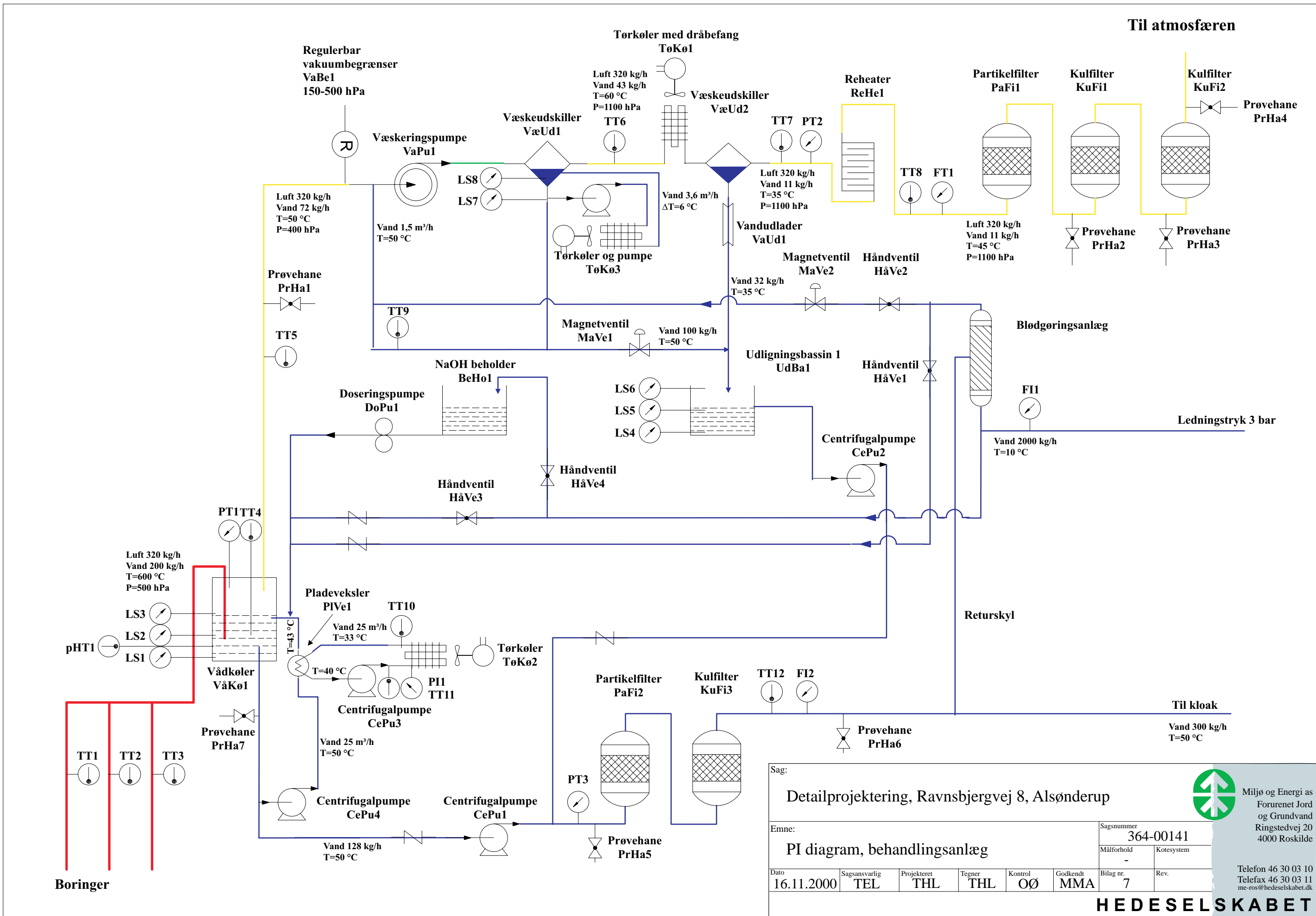
95 APPROX. TOP OF WEATHER PROOF BOOT

1000

9820 BELOW GROUND LEVEL (NOMINAL)

8 PITCHES @ 1000 (8000)

0.234 WIRE MESH (0.63 HOLES) 42% FREE AREA TYP. ST.ST. 316L. (NOT SHOWN FOR CLARITY)



Sag: **Detailprojektering, Ravnsbjergvej 8, Alsønderup**

Emne: **PI diagram, behandlingsanlæg**

Dato: 16.11.2000 | Sagsansvarlig: TEL | Projekteret: THL | Tegner: THL | Kontrol: OØ | Godkendt: MMA

Sagsnummer: 364-00141 | Målforhold: - | Kotesystem: - | Bilag nr.: 7 | Rev.: -

Miljø og Energi as
 Forurenet Jord og Grundvand
 Ringstedvej 20
 4000 Roskilde

Telefon 46 30 03 10
 Telefax 46 30 03 11
 me-ros@hedeelskabet.dk

HEDELSKABET